

"Baulicher Brandschutz im Industriebau -  
Stand der Erkenntnisse"

---

von

K. Kordina und U. Schneider

September 1978

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz sowie  
Sonderforschungsbereich "Brandverhalten von Bauteilen"  
der Technischen Universität Braunschweig

## Inhaltsverzeichnis

	Seite
<u>1. Einleitung</u> . . . . .	1
1.1. Problemstellung . . . . .	1
1.2. Fragen des Brandrisikos in Industriegebäuden . . . . .	2
<u>2. Methoden der brandschutztechnischen Bemessung</u> . . . . .	6
2.1. Allgemeine Verfahren . . . . .	6
2.2. Grundlagen der indirekten Bemessung . . . . .	11
<u>3. Beurteilung des Brandgeschehens nach DIN 18 230</u> . . . . .	15
3.1. Einfluß der Brandbelastung . . . . .	15
3.2. Einfluß der Stoffe . . . . .	20
3.3. Einfluß des Wärmeabzugs . . . . .	24
3.4. Streuung der äquivalenten Branddauer . . . . .	26
3.5. Streuung der Feuerwiderstandsdauer . . . . .	28
<u>4. Sicherheitskonzept für den baulichen Brandschutz</u> . . . . .	30
4.1. Der Brand als stochastischer Prozeß . . . . .	30
4.2. Zuverlässigkeit als Maß für die Sicherheit . . . . .	31
4.3. Versagenswahrscheinlichkeit im Brandfall . . . . .	34
4.4. Korrekturwerte $j_{nb}$ . . . . .	35
4.5. Kombinationsbeiwerte $\Psi$ . . . . .	36
<u>5. Untersuchungen an bestehenden Gebäuden</u> . . . . .	37
5.1. Verteilung der Brandabschnittsgrößen . . . . .	37
5.2. Ausgeführte und nach DIN 18 230 berechnete Brandschutz- klassen . . . . .	40
<u>6. Schlußfolgerungen</u> . . . . .	46
<u>7. Literaturverzeichnis</u> . . . . .	48

## 1. Einleitung

### 1.1. Problemstellung

Industriebauten gehören im bauaufsichtlichen Sinne zu den baulichen Anlagen besonderer Art und Nutzung, an die nach den Bauordnungen besondere Anforderungen hinsichtlich des vorbeugenden baulichen Brandschutzes gestellt werden können. Diese Anforderungen betreffen ggf. die Bauart, die Anordnung der Rettungswege, die Anordnung der baulichen Anlage auf dem Grundstück usw.

Unser föderalistisches System hat in diesem Zusammenhang zu der Situation geführt, daß je nach Bundesland, in dem man für den gleichen Zweck ein bestimmtes Gebäude errichten will, keine oder verschärfte Anforderungen an die Feuerbeständigkeit der Bauteile gestellt werden. Diese unbefriedigende Situation soll durch Vereinheitlichung der z. Z. noch im Ermessen der Bauaufsichtsbehörden liegenden Brandschutzanforderungen im Industriebau beseitigt werden.

Die praktische Verwirklichung dieser Vorstellung hat in dem Normentwurf "Baulicher Brandschutz im Industriebau" DIN 18 230 Teil 1, Ausgabe 1978, ihren Niederschlag gefunden. Die Normvorlage wurde unter Berücksichtigung der neuesten Forschungserkenntnisse auf dem Gebiet des Brandschutzes erarbeitet. Erstmals in Deutschland wird darin ein direkter Zusammenhang hergestellt zwischen der in einem Brandabschnitt tatsächlich vorhandenen Menge brennbarer Stoffe und den brandschutztechnischen Anforderungen an das Bauwerk. Das Konzept beinhaltet weiterhin die Möglichkeit, bauliche Brandschutzmaßnahmen durch Verbesserung der Brandbekämpfungsmöglichkeiten zu substituieren. Damit hat beispielsweise das Vorhandensein einer Sprinkleranlage Auswirkung auf die Anforderungen an die Bauteile oder die jeweils zulässigen Brandabschnittsgrößen. Das Bemessungssystem wird ergänzt durch Sicherheitsfaktoren, die auf der Grundlage des allgemeinen, auf statistischen Grundlagen aufbauenden Sicherheitskonzept für das Bauwesen (Model-Code I) ermittelt wurden [1]. Damit sollen die bei der Anwendung des Verfahrens implizierten Streuungen auf der Beanspruchungs- und Widerstandsseite, so gut es eben möglich ist, berücksichtigt werden.

Im folgenden werden die in dem Normentwurf eingearbeiteten brandschutztechnischen Grundlagen beschrieben und diskutiert. Ausgehend von einigen statistischen Angaben hinsichtlich des Brandrisikos in Industriegebäuden wird gezeigt, welche Möglichkeiten bestehen, die Risiken in solchen Gebäuden

durch eine gezielte brandschutztechnische Bemessung zu begrenzen. Daran anschließend wird das dem Normentwurf zugrunde liegende Konzept erläutert, wobei auch auf neuere brandschutztechnische Erkenntnisse eingegangen wird.

Im letzten Abschnitt dieses Berichts wird anhand einer statistischen Auswertung - die an bestehenden Industriegebäuden vorgenommen wurde - gezeigt, welche Auswirkungen die Anwendung dieser Norm auf den Industriebau vermutlich haben wird.

## 1.2. Fragen des Brandrisikos in Industriegebäuden

Das Brandrisiko kann allgemein durch die symbolische Gleichung

$$\text{Brandrisiko} = (\text{Brände je Zeiteinheit}) \times (\text{Brandschäden je Brand})$$

definiert werden. Für Gebäude besteht offenbar dann ein hohes Brandrisiko, risiko, wenn entweder die Auftretensrate von Bränden je Zeiteinheit besonders hoch ist oder die Brandschäden einen bestimmten Durchschnittswert je Brand deutlich überschreiten. Bei Industriegebäuden dürfte letzteres in vielen Fällen maßgebend sein.

Nach Angaben der NFPA<sup>+)</sup>  sind in den USA im Jahre 1975 allein 14,1 % der Gesamtschäden bei Gebäuden durch Großbrände mit Schadenssummen > DM 500.000,-- entstanden, wobei die Gesamtzahl der Großbrände nur 0,02 % aller Brände ausmacht. In Tabelle 1 ist eine Übersicht der registrierten Großbrände gegeben. Es zeigt sich deutlich, daß Industriebrände offenbar recht häufig zu großen Schäden führen. Ganz grob läßt sich sagen, daß Brände im Bereich von Kraftwerken, Minen, Verteidigungsanlagen, Produktionsanlagen und Lagergebäuden gut 50 % der Großbrandschäden in den USA ausmachen. Leider gestatten die zur Verfügung stehenden Unterlagen keine weitere Differenzierung; es ist jedoch zu vermuten, daß z.B. der Anteil von Großbränden in Verteidigungsanlagen in den USA unvergleichlich höher ist als in Deutschland.

Diese Erkenntnis wirft sofort die Frage nach den Brandursachen auf, wobei hier nur der Industriebereich interessiert. In Tabelle 2 ist eine Übersicht der Häufigkeit von Zündursachen und der daran beteiligten Materialien zu finden. Auffällig ist, daß nach diesen Angaben gut 50 % aller Brände aufgrund mechanischen Versagens, also Funktionsstörungen und Fehlleistungen an Produktions- bzw. Hilfseinrichtungen eintreten. Holz und Papier sowie brennbare Flüssigkeiten geraten überwiegend in Brand.

---

<sup>+)</sup>  National Fire Protection Association, USA

Tabelle 1

## Auftreten von Großbränden in Gebäuden \*)

Gebäudeart	Anzahl der Brände	Anteil an den Großbrandschäden
öffentliche Gebäude	15.1	8.5
Ausbildungszentren	4.7	2.8
soziale Institutionen	0.5	0.3
Wohngebäude	8.2	3.3
Handelsgebäude	18.7	12.7
Kraftwerke, Minen, Verteid.	12.9	21.3
Produktionsanlagen	18.5	20.4
Lagergebäude	16.3	12.5
Spezialgebäude	4.2	11.0
undefiniert	10.9	6.6
Summe	100 0 %	100.0 %

\*) Quelle: NFPA, 1975, USA, Brandschaden jeweils > DM 500 000,-

Tabelle 2

## Ursache von Bränden in Industriegebäuden +)

Zündursache	%	entzündetes Material	%
Brandstiftung	5.1	Gase	6.4
mögliche Brandstiftung	4.0	brennbare Flüssigkeiten	22.1
Mißbrauch einer Zündquelle	14.3	Dämpfe	5.4
Mißbrauch eines Materials	5.6	Metalle und Plastik	15.7
mechanisches Versagen	52.1	Naturstoffe	9.6
(Funktionsstörung u. Fehlleistung)			
Konstruktions- und		Holz oder Papier	27.9
Installationsmängel	5.8	Textilien	10.3
Bedienungsfehler	-	Stoffe in Verbindung mit Öl	2.2
unbestimmt	13.1	unbestimmt	0.4
Summe	100.0	Summe	100.0

+ ) Quelle: NFPA , 1975 , USA

Tabelle 3

## Ursache von Bränden in Industriebauten +)

Zündquelle	%	Form der Zündquelle	%
Heizsysteme	6.9	flüssig beheiztes Objekt	19.0
Kocheinrichtungen	1.1	elektrischer Bogen, Überlast	21.0
Kühleinrichtungen	0.4	rauchendes Material	-
Elektrische Leitungen	13.2	offene Flamme, Funke	10.4
Geräte	5.2	heißes Objekt	29.1
Spezialeinrichtungen	2.5	Explosionen	2.2
Produktionseinrichtungen	35.6	natürliche Wärmequelle	11.0
Instandhaltungsanlagen	3.7	andere Feuer	2.8
unbestimmt	31.4	unbestimmt	0.3
Summe	100.0	Summe	100.0

+ ) Quelle: NFPA , 1975 , USA

Hinsichtlich des Auftretens verschiedener Zündquellen läßt sich sagen, daß diese immerhin zu 35 % in den Produktionseinrichtungen zu finden sind (s. Tabelle 3). Als Form der Zündquelle werden neben elektrischer Überlast (21 %), heiße Oberflächen und Objekte (29,1 %) besonders häufig genannt. Zusammenfassend kann gesagt werden, daß Brände in Industriebetrieben vorzugsweise durch die Produktion selbst begründet und nur durch diesbezügliche gezielte Vorkehrungen in diesem Bereich zu vermindern sind.

## 2. Methoden der brandschutztechnischen Bemessung

### 2.1. Allgemeine Verfahren

Es besteht aufgrund der oben geschilderten Zusammenhänge keine Veranlassung, bei Industrieanlagen, also bei baulichen Anlagen besonderer Art und Nutzung, auf die in den Bauordnungen erwähnten besonderen Anforderungen an den Brandschutz zu verzichten. Dabei sollte jedoch beachtet werden, daß solche Anforderungen - im Sinne des Gleichheitsgrundsatzes - zu vereinheitlichen und bei der Ermittlung von bestimmten Anforderungen vor allem sachliche Erwägungen in Rechnung zu stellen sind. Aufgrund des gegenwärtigen Stands der Erkenntnisse auf dem Gebiet des baulichen Brandschutzes sollte es möglich sein, Kriterien zu entwickeln, die bei der Festlegung solcher Anforderungen allgemein akzeptiert werden können.

Grundsätzlich kann eine brandschutztechnische Bemessung von Bauteilen auf zwei verschiedenen Wegen erfolgen: Einmal nach der in DIN 4102 definierten Prüf- und Beurteilungsmethode und zum anderen auf der Grundlage eines natürlichen Brandes bzw. realen Schadenfeuers, wobei im letztgenannten Fall zwischen der direkten und der indirekten Bemessung unterschieden werden muß. Auf Bild 1 sind diese unterschiedlichen Bemessungsmethoden schematisch dargestellt.

Die Bemessung nach dem Normbrand stellt bislang praktisch den Regelfall dar. Sie setzt jedoch voraus, daß die Anforderungen z. B. an die Feuerwiderstandsdauer der Bauteile bauaufsichtlich geregelt ist. Bei Industriegebäuden hingegen ist die Höhe der brandschutztechnischen Anforderungen zunächst nicht festgelegt. Eine individuelle Festlegung der Anforderungen für das Einzelbauwerk bzw. -bauteil wird somit möglich. Es ergibt sich eine brandschutztechnische



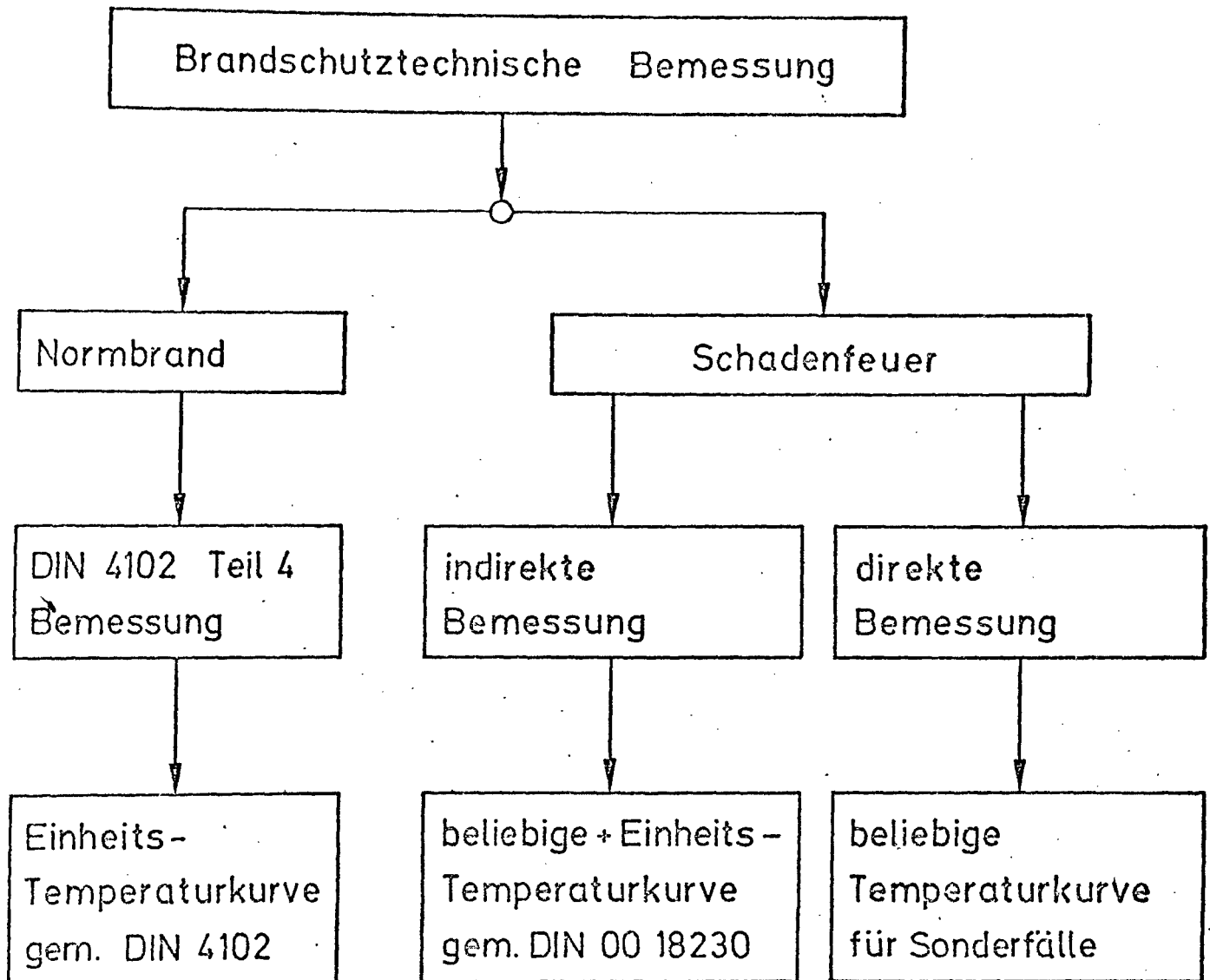


Bild 1: Methoden der brandschutztechnischen Bemessung

Bemessung, die sich an dem voraussichtlich zu erwartenden maximalen Brand im Gebäude orientiert. Dabei wird gemäß Bild 1 zwischen direkter und indirekter Bemessung unterschieden.

In diesem Zusammenhang ist darauf hinzuweisen, daß sich reale Brände hinsichtlich ihres Temperatur-Zeit-Verhaltens vom Normbrand nach DIN 4102 grundsätzlich unterscheiden. Auf Bild 2 sind einige Temperaturkurven von Versuchsbränden mit Holzkrippen [6] dargestellt. Man erkennt, daß in Abhängigkeit von der vorgegebenen Brandlast Temperaturen auftreten, die teilweise über, zum Teil jedoch auch deutlich unter den im Normbrandversuch realisierten Brandraumtemperaturen liegen. Auch bezüglich des zeitlichen Verlaufs ist im natürlichen Brand mit ganz anderen Verhältnissen zu rechnen.

Ein weiterer wichtiger Faktor ist in diesem Zusammenhang die Ventilation, weil das Brandgeschehen durch die Be- und Entlüftung des Brandraums beeinflusst wird. Hinweise dazu gibt Bild 3: Die Brandraumtemperaturen steigen, wenn die Ventilation<sup>+)</sup> sinkt, d. h. man muß bei geringer Ventilation in einem Brandfall mit hohen Temperaturen und langen Branddauern rechnen - ein Kellerbrand ist dafür ein typisches Beispiel. Umgekehrt ist bei guter Ventilation die Brandraumtemperatur geringer, woraus sich auch eine niedrigere Beanspruchung z. B. der Bauteile des Gebäudes ergibt. In Abschnitt 3.2 wird auf diese Zusammenhänge noch näher eingegangen.

Die Festlegung des Normbrandes nach DIN 4102 als maßgebende Brandbeanspruchung ist somit relativ willkürlich. Der Vorteil einer brandschutztechnischen Bemessung aufgrund eines genormten Brandverlaufs ist vor allem in der Möglichkeit zu sehen, vergleichbare und beliebig wiederholbare Prüfergebnisse heranziehen zu können. In einem wirklichen Brand treten demgegenüber Brandverläufe auf, die deutlich darunter aber auch darüber liegen können. Besonders schwierig wird die direkte Bemessung anhand eines realen Schadenfeuers (Bild 1, rechte Seite). Bei dieser Art der Bemessung muß in der Regel auf theoretische Untersuchungen und Analysen zurückgegriffen werden, insbesondere um den Brandverlauf wirklichkeitsnahe genug zu erfassen. Im Prinzip sind bei einer derartigen Bemessung drei grundsätzlich verschiedene Bemessungsabschnitte erforderlich, von denen allerdings zwei direkt miteinander gekoppelt sind, was die Anwendung dieses Verfahrens außerordentlich erschwert.

---

+) Auf Bild 3 ist die Ventilation als Prozentsatz der Seitenwandfläche Versuchskammer in Metz definiert [6].

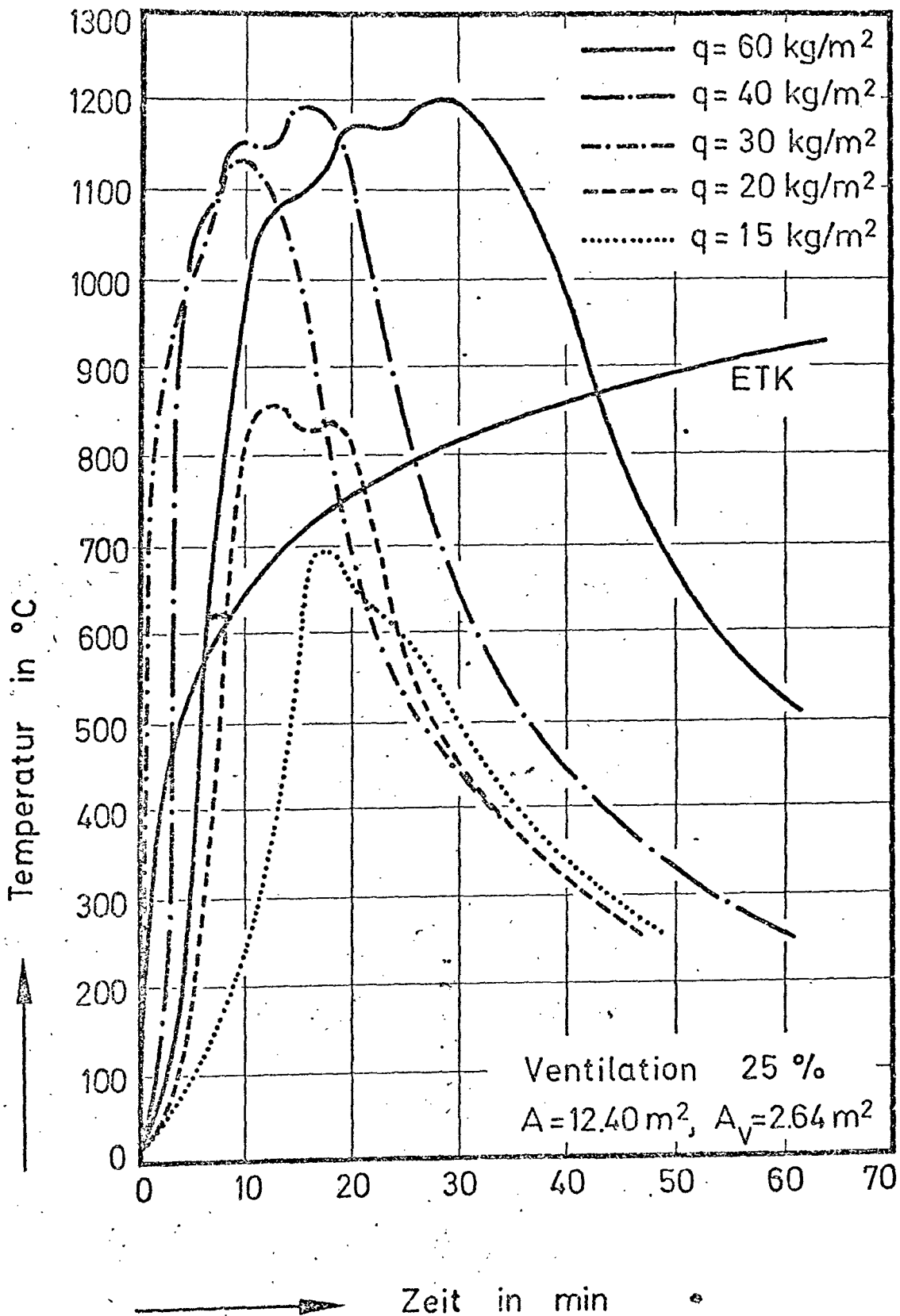
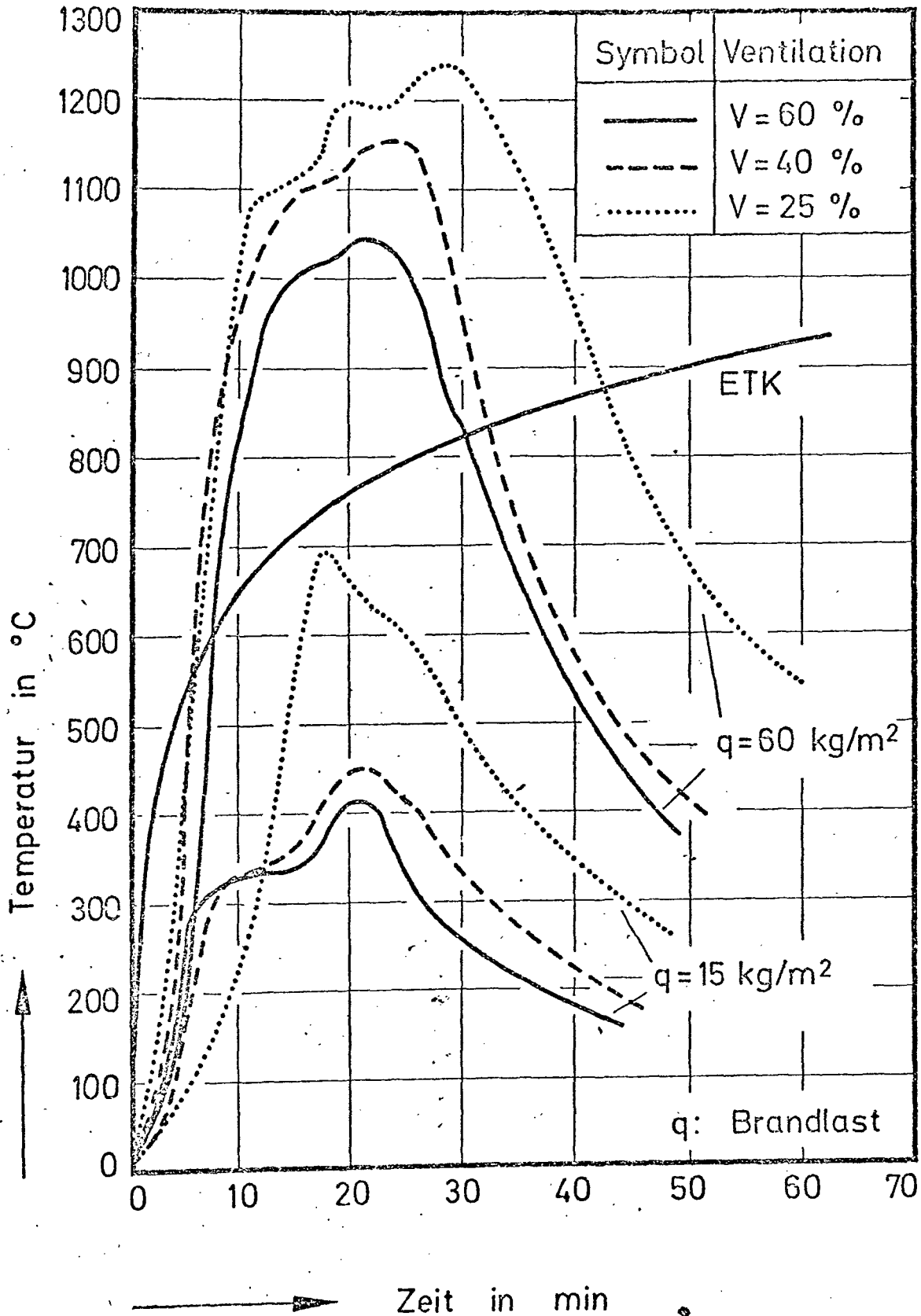


Bild 2: Einfluß der Brandbelastung auf den Temperaturverlauf bei realen Bränden nach Versuchen in Metz [6]



**Bild 3:** Einfluß der Ventilationsöffnung auf den Temperaturverlauf bei realen Bränden nach Versuchen in Metz [6]

Der erste Bemessungsschritt besteht in einer Wärmebilanzrechnung für das im Katastrophenfall zu erwartende Schadenfeuer. Als externe Größe gehen dabei die Brandlast, einschließlich der zu erwartenden Brandausbreitungs- und Abbrandgeschwindigkeiten, die Brandraumgeometrie, die Brandraumlüftung und die den Brandraum begrenzenden Materialien in die Berechnung ein. Das Ergebnis dieser Analyse ist ein mittlerer Temperatur-Zeit-Verlauf im Brandabschnitt, der im zweiten Berechnungsschritt als Eingangsgröße dient.

Im zweiten Berechnungsschritt werden die Bauteilbeanspruchungen aufgrund des berechneten Brandverlaufs ermittelt. Dabei sind neben den Lasten und Auflagerungsbedingungen der den Brandraum begrenzenden Bauteile, der zeitlich veränderliche Temperaturverlauf im Brandraum, die jeweils vorherrschenden Wärmeübergangsbedingungen und auch alle thermisch bedingten Änderungen in den Materialeigenschaften der Konstruktionsbaustoffe zu berücksichtigen.

Der dritte Berechnungsschritt besteht in einer Bauteilanalyse anhand der berechneten Temperatur-, Spannungs- und Verformungsfelder. Aufgrund dieser Analyse wird über die Zulässigkeit des Entwurfs entschieden. Ist der Entwurf nicht zulässig, muß die Rechnung mit geänderten Bauteilparametern wiederholt werden. Die Wärmebilanzrechnung braucht dabei jedoch nicht erneut durchgeführt zu werden, es sei denn, es werden im zweiten Entwurf neue Baustoffe mit einem anderen Brandverhalten vorgeschlagen.

Diese Art der brandschutztechnischen Bemessung erweist sich somit als außerordentlich kompliziert und mit Unsicherheiten behaftet. Sie sollte deshalb nur dann zum Zuge kommen, wenn der Anwender mit den thermodynamischen und material-spezifischen Grundlagen solcher Probleme vertraut ist. Für den alltäglichen Gebrauch scheidet sie praktisch aus. Bei Gebäuden bzw. Objekten besonderer Art und Nutzung sollte sie jedoch allein schon aus wirtschaftlichen Erwägungen nicht völlig außer acht gelassen werden.

## 2.2. Grundlagen der indirekten Bemessung

Die wirtschaftlich u. U. beachtlichen Vorteile der brandschutztechnischen Bemessung aufgrund eines realen Schadenfeuers haben zu Überlegungen geführt, diese Methode mit dem Bemessungsverfahren nach DIN 4102 zu verknüpfen und dadurch praxisgerechter und einfacher zu machen. Damit soll erreicht werden, daß einerseits die in Normbrandversuchen gesammelten brandschutztechnischen Erfahrungen weiterhin verwendet werden können (z. B. DIN 4102 Teil 4), andererseits jedoch

auch die in realen Schadenfeuern tatsächlich auftretenden Brandbeanspruchungen Berücksichtigung finden und an die Bauteile realistische brandschutztechnische Anforderungen gestellt werden.

Ausgangspunkt dieser sog. indirekten Bemessung ist einerseits ein reales Schadenfeuer im Brandabschnitt, welches z.B. durch eine Wärmebilanzrechnung simuliert werden kann, und zum anderen eine Brandbeanspruchung entsprechend der Einheits-temperaturzeitkurve nach DIN 4102. Aus dem Schadenfeuer einerseits und dem Normbrand andererseits resultieren naturgemäß unterschiedliche Brandbeanspruchungen, die ihrerseits bestimmte Brandwirkungen in den Bauteilen hervorrufen. Diese Brandbeanspruchungen bzw. -wirkungen können durch Messung oder Rechnung miteinander in Beziehung gesetzt werden; für das reale Schadenfeuer wird die sogenannte äquivalente Normbranddauer bestimmt, d. h. das reale Schadenfeuer wird in seinen Auswirkungen mit den Auswirkungen eines Normbrands von bestimmter Dauer auf ein bestimmtes Bauteil (Vergleichs- oder Indikatorbauteil) verglichen.

Bild 4 zeigt den Ablauf dieses Beurteilungsverfahrens. Durch Gleichsetzung der maximalen Brandwirkungen, die im natürlichen Brand aufgetreten sind, mit gleichen Brandwirkungen, die im Normbrand nach einer bestimmten Zeit auftreten, wird die äquivalente Branddauer  $t_{\text{äq}}$  ermittelt (Bild 5). Die Bemessung bzw. Beurteilung der Feuerwiderstandsdauer der Bauteile kann nun auf der Grundlage des Normbrandes vorgenommen werden. Das reale Schadenfeuer wurde somit über ein Indikatorbauteil auf den Normbrand zurückgeführt, und die gesamten in Normbrandversuchen gesammelten brandschutztechnischen Erfahrungen können nun wieder zur Anwendung kommen.

Das hier erläuterte Verfahren erscheint zunächst als sehr vorteilhaft. Allerdings hat es auch gewisse Schwächen. Diese hängen vor allem mit der Definition der Brandwirkung und der meßtechnischen Erfassung dieser Größe zusammen. Grundsätzlich muß davon ausgegangen werden, daß alle in einem Brandfall auftretenden Bauteilveränderungen als Brandwirkungen anzusehen sind. Die wichtigsten Veränderungen sind z. B. Temperaturerhöhungen - beispielsweise die Temperaturerhöhungen eines Stahl- oder Stahlbetonbauteils -, Durchbiegungen und Verformungen aller Art, Festigkeitsminderungen, aber auch Entwässerungen und chemische Umwandlungen sowie Abbrand- bzw. Verkohlungstiefen. Jede dieser Größen kann als Brandwirkung und somit als Parameter für die Beurteilung einer Brandbeanspruchung am Bauteil angesehen werden; maßgebend ist aber offensicht-

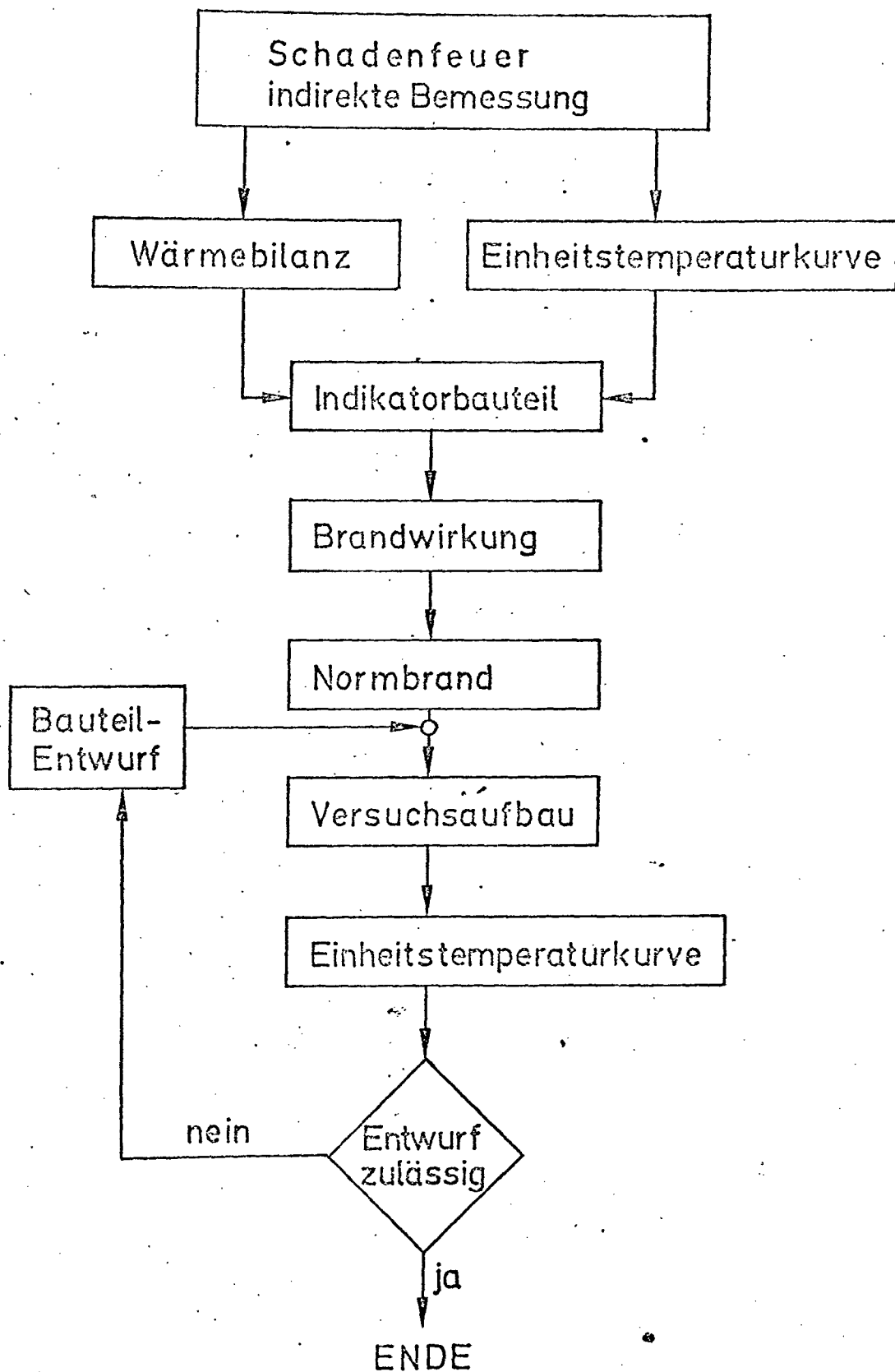


Bild 4: Indirekte brandschutztechnische Bemessung aufgrund realer Schadenfeuer

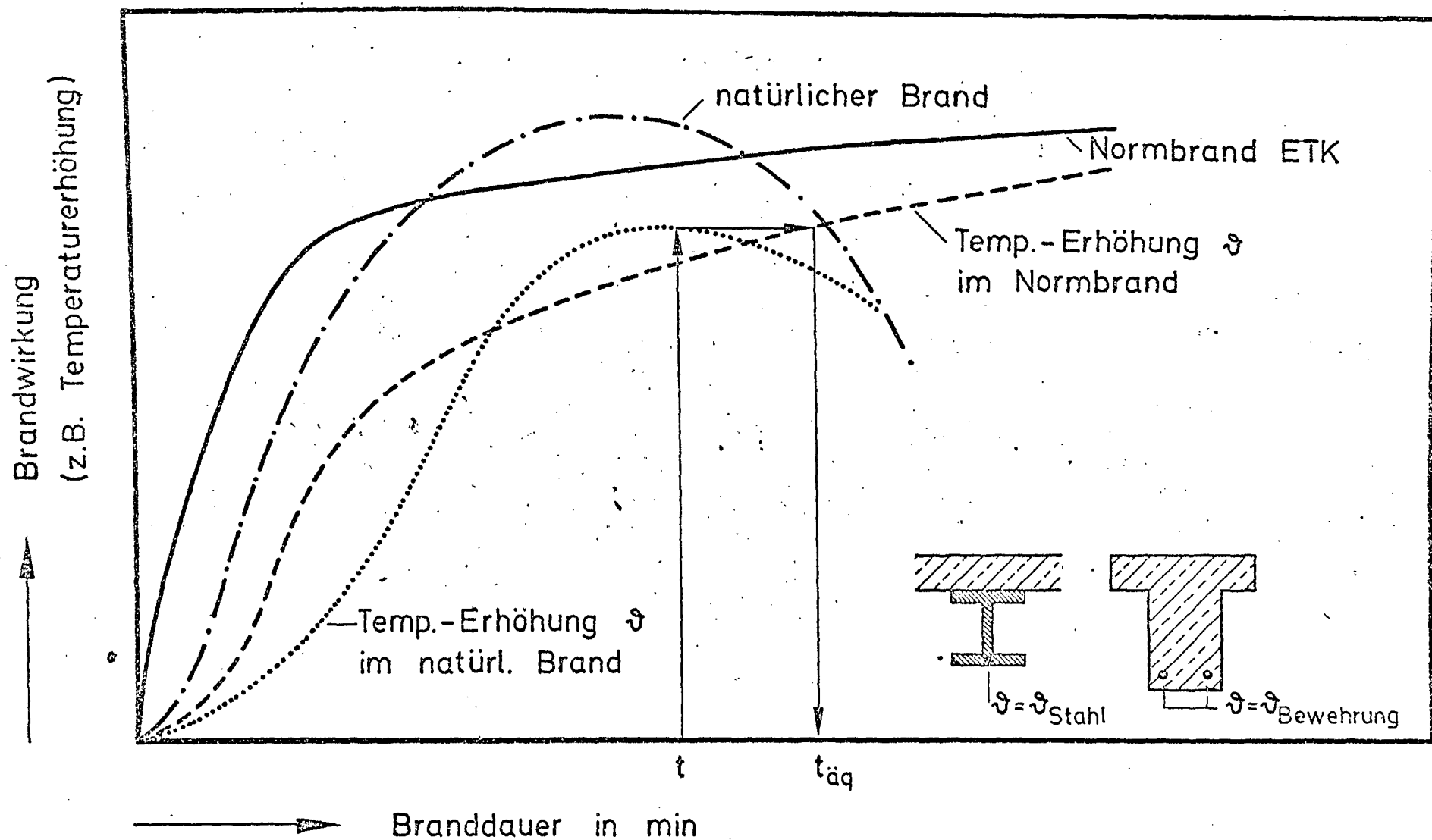


Bild 5: Ermittlung der äquivalenten Branddauer durch Vergleich der Brandwirkungen im Bauteile



lich nur jene, die zuerst zu einer Begrenzung der Feuerwiderstandsdauer des zu überprüfenden Bauteils führt. Hierüber sind zahlreiche Forschungsarbeiten durchgeführt worden [2 bis 5], so daß über die Anwendbarkeit des Verfahrens keine grundsätzlichen Bedenken bestehen; Abweichungen gegenüber der Wirklichkeit lassen sich allerdings nicht vollständig ausschließen.

### 3. Beurteilung des Brandgeschehens mittels der äquivalenten Branddauer

#### 3.1. Einfluß der Brandbelastung

Der Normvorlage DIN 18 230 Teil 1, August 1978, liegt das indirekte brandschutztechnische Bemessungsverfahren zugrunde. In den Nachweisgleichungen

$$t_{\text{äq}} = c \cdot q \cdot m \cdot w = c \cdot q_r \quad (1)$$

und  $\text{erf } F = t_{\text{äq}} \cdot j_r \cdot j_{\text{nb}} \leq F \quad (2)$

wird die erforderliche Feuerwiderstandsdauer über die äquivalente Branddauer unter Einbeziehung bestimmter Sicherheitsbeiwerte ermittelt. In den Gleichungen (1) und (2) bedeuten:

- $t_{\text{äq}}$  - äquivalente Branddauer,
- $c$  - Proportionalitäts- bzw. Umrechnungsfaktor in  $\text{min} \cdot \text{m}^2/\text{kWh}$ ,
- $q$  - Brandbelastung, bezogen auf die Brandabschnittsfläche in  $\text{kWh}/\text{m}^2$ ,
- $m$  - Abbrandfaktor,
- $w$  - Wärmeabzugsfaktor
- $q_r$  - bewertete Brandbelastung in  $\text{kWh}/\text{m}^2$ ,
- $j_r, j_{\text{nb}}$  - Sicherheitsbeiwerte.
- $F$  - Feuerwiderstandsdauer in min.

Im folgenden wird zunächst nur Gl. (1) behandelt. Gl. (2) und die damit zusammenhängenden Fragen des Sicherheitskonzepts werden im Abschnitt 4 erläutert.

Eine der wesentlichen Annahmen in Gl. (1) ist die Voraussetzung der Proportionalität zwischen Brandbelastung und äquivalenter Branddauer. Es soll deshalb untersucht werden, inwieweit diese Näherung möglich und sinnvoll ist,

wobei auf die Ergebnisse experimenteller Untersuchungen, die vor allem in der Brandversuchsstation in Metz [6] durchgeführt wurden, zurückgegriffen werden kann.

Auf Bild 6 ist die äquivalente Branddauer in Abhängigkeit einer modifizierten Brandbelastung für eine große Zahl von Versuchen angegeben. Als Brandgut dienten Holzkrippen, wobei die Lattenquerschnitte 4 x 4 cm und 7 x 7 cm betrugen. Die Versuche wurden mit verschiedenen Brandlasten und unterschiedlichen Ventilationsbedingungen durchgeführt, wobei sich die auf den Bildern 2 und 3 gezeigten mittleren Brandraumtemperaturen einstellten. Durch Multiplikation der Brandbelastung mit dem Ventilationsfaktor  $A/\sqrt{A_t \cdot A_v}$  <sup>+)</sup>  konnten alle Versuchswerte der auf Bild 6 angegebenen Art zusammengefaßt werden.

Weiterhin zeigte sich, daß die Wärmedämmung der Umfassungswände des Brandhauses einen maßgeblichen Einfluß auf die Brandraumtemperaturen besitzen. Bei vergleichsweise guter Wärmedämmung der Wände durch einen Spezialputz mit niedriger Wärmeleitfähigkeit ergaben sich deutlich höhere äquivalente Branddauern als bei normaler Auskleidung der Wände mit Schamotte- bzw. Betonsteinen.

Diesem Einfluß wurde in der Normvorlage durch den Umrechnungsfaktor c Rechnung g getragen (vergl. Abschnitt 7.3 in DIN 18 230 E).

Das Bild 6 zeigt weiterhin, daß sich die Meßwerte in beiden Fällen vergleichsweise gut durch eine Regressionsgerade wiedergeben lassen. Allerdings wurden nur Brandbelastungen bis zu 60 kg/m<sup>2</sup> untersucht. Die vorausgesetzte Proportionalität zwischen  $t_{\text{äq}}$  und q ist bei diesen Versuchen somit nur bis etwa 80 Minuten äquivalenter Branddauer nachgewiesen worden. Es spricht jedoch nichts dagegen, für erste Abschätzungen eine Extrapolation der gefundenen Abhängigkeiten über den untersuchten Brandlastbereich hinaus vorzunehmen. Die Frage, ob die Ergebnisse solcher Kleinversuche überhaupt auf den Industriebau angewendet werden können und sollten, kann hiermit nicht generell beantwortet werden. Der Totalausbrand in einem nicht zu kleinen Brandhaus dürfte jedoch zu Bauteilbeanspruchungen führen, die mit den bei Großbränden auftretenden Beanspruchungen durchaus vergleichbar sind, - zumal bei einem wirklichen Brand

---

+) A - Grundfläche des Brandhauses: 12,40 m<sup>2</sup>  
A<sub>t</sub> - Umfassungsfläche des Brandhauses: 69 m<sup>2</sup>  
A<sub>v</sub> - Fenster- bzw. Öffnungsfläche: Ventilation 25 %  $\hat{=}$  2,64 m<sup>2</sup>

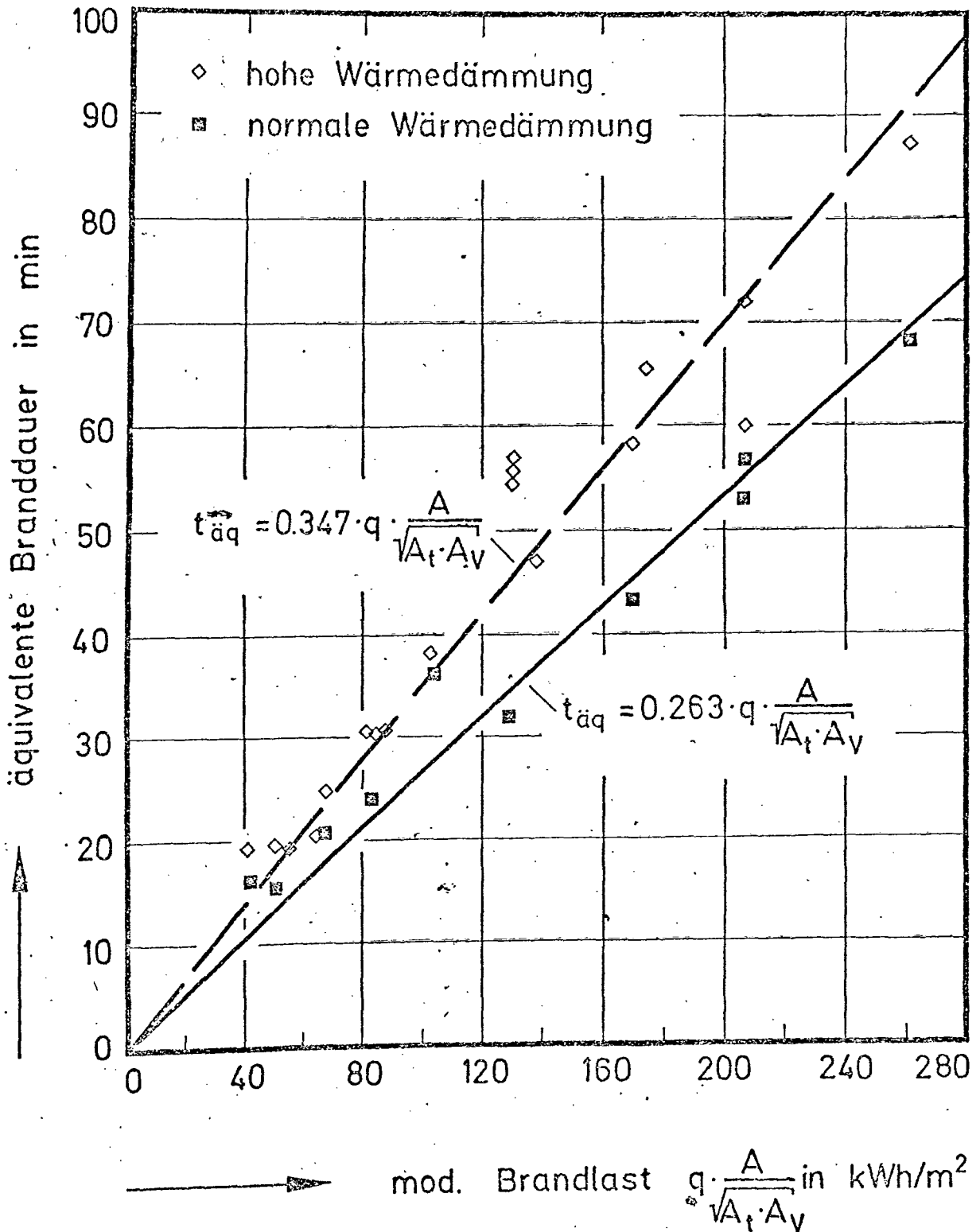


Bild 6: Äquivalente Branddauer als Funktion der Brandbelastung nach Versuchen in Metz [6]

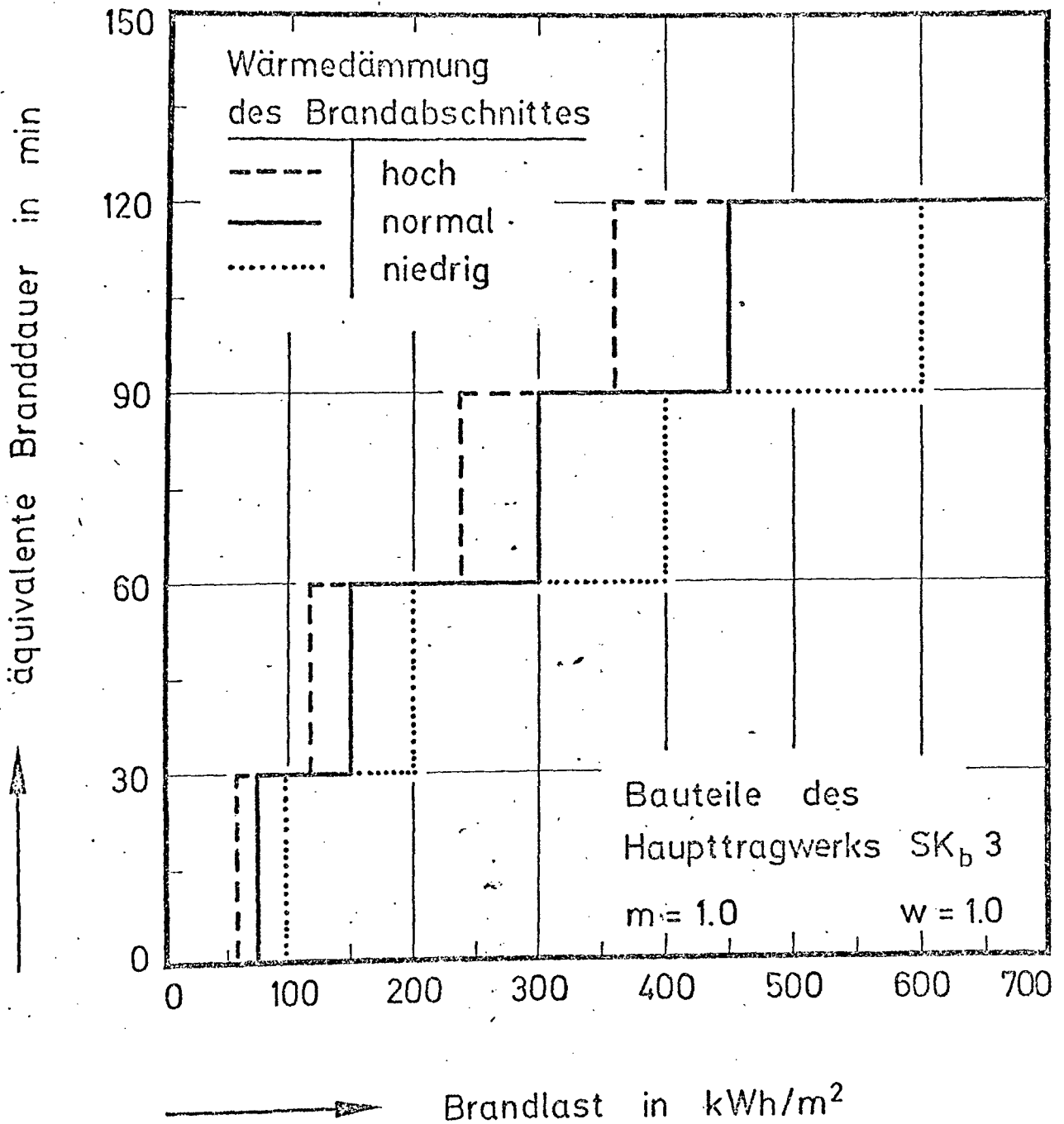


Bild 7: Äquivalente Branddauer als Funktion der Brandbelastung nach  
DIN 18 230 (C-Faktor gem. Tab. 3)

unterstellt werden kann, daß sich in großen Brandabschnitten nur selten die gesamten brennbaren Stoffe gleichzeitig am Brandgeschehen beteiligen, während bei den Versuchen innerhalb weniger Minuten die gesamte Brandlast gezündet wurde.

Die Ergebnisse von Bild 6 können den Anforderungen der Normvorlage (s. Erläuterungen, Tabelle A, Bauteile der Sicherheitsklasse SK<sub>b</sub>3) gegenübergestellt werden. Für den Fall  $m = 1,0^{+)}$ ,  $w = 1,0^{++)}$  und  $\gamma' = \gamma'_{nb} = 1,0$  erhält man mit den Werten der Norm die auf Bild 7 dargestellten Treppenpolygone. Man erkennt daran, daß die Normwerte für die hier angenommenen Grenzwerte für  $m$ ,  $w$  und  $\gamma'$  in die Größenordnung der vorliegenden Meßwerte fallen. Durch die unvermeidbaren Stufen in den einzelnen Brandschutzklassen ergeben sich allerdings weite Bereiche, die sowohl über als auch unterhalb dieser Meßwerte liegen. Insgesamt gesehen ergibt sich jedoch eine vergleichsweise gute Übereinstimmung. Es muß jedoch darauf hingewiesen werden, daß im Bereich sehr hoher Brandlasten (Brandschutzklasse V) die Werte der äquivalenten Branddauer in der Norm auf F 120 beschränkt bleiben. Als Begründung dafür kann gesagt werden, daß die Feuerwiderstandsklasse F 120 bereits oberhalb derjenigen Forderungen liegt, die laut Bauordnung z. B. an mehrgeschossige Wohngebäude zu stellen sind! Insofern schien eine konsequente Anwendung der Anforderungen gemäß den theoretischen Überlegungen an die tragenden Bauteile von Industriebauten nicht gerechtfertigt und insbesondere von Seiten der Industrie auch nicht als akzeptabel. Schon der Schritt von F 90 auf F 120 bedeutet u. U. eine wesentliche Verschärfung gegenüber der bisherigen Praxis. Entschärft wird die Situation etwas dadurch, daß bei derartigen Anforderungen an die Konstruktion überwiegend die Massivbauweise zum Einsatz kommt, so daß die entsprechenden Anforderungen vergleichsweise einfach zu erfüllen sind (vergleiche DIN 4102 Teil 4, Entwurf 1978).

---

+) Man beachte, daß bei den Krippenversuchen gemäß Bild 6 Hölzer mit  $m = 1,0$  verwendet wurden (s. DIN 18 230, Teil 1, Beiblatt).

++) Bei der Versuchsanordnung in Metz ist  $A/\sqrt{A_t \cdot A_v} \approx 1$ , wenn  $A_v = 2,23 \text{ m}^2$  und  $A_v/A = 0,18$  betragen (s. DIN 18 230, Teil 1, Tabelle 2, Teile 1:  $w = 1$  für  $A_v/A = 0,20$  bis  $0,25$ ).

Es stellt sich nun noch die Frage, welche Brandbelastungen im Industriebau überhaupt auftreten und wie die Brandlastverteilung aussieht. Im Rahmen einer kürzlich durchgeführten Untersuchung an 33 Industrieobjekten wurden diesbezügliche Erhebungen angestellt. Die Untersuchungsergebnisse sind auf Bild 8 dargestellt. Im oberen Teil des Bildes ist zunächst die Häufigkeitsverteilung der logarithmierten Brandlasten angegeben.

Nach der Verteilungsfunktion ergibt sich ein relativ starker Anstieg bei Brandlasten von 80 bis 150 kWh/m<sup>2</sup>. Eine Auftragung im Wahrscheinlichkeitsnetz zeigt, daß etwa 50 % aller Brandlasten unter 200 kWh/m<sup>2</sup> liegen. Andererseits wird jedoch deutlich, daß es eine relativ kleine Anzahl von Industriebauten mit überdurchschnittlich hohen Brandlasten gibt, die zu einer erheblichen Verzerrung der Verteilungsfunktion führen. Die 95 %-Fraktile der Verteilungsfunktion liegt immerhin bei 1400 kWh/m<sup>2</sup> - einem vergleichsweise hohen Wert.

### 3.2. Einfluß der Stoffe

Über die Charakterisierung des Abbrandverhaltens von Stoffen unterschiedlicher Zusammensetzung, Form und Verteilung sind viele Diskussionen geführt worden, und es hat lange gedauert, bis die Beteiligten dem Normentwurf DIN 18 230 Teil 2 ihre Zustimmung geben konnten. In dem Abbrandfaktor 'm' ist eine ganze Reihe von Einflußgrößen versteckt, und es ist nicht Gegenstand dieses Berichts, diese ausführlich zu erläutern. In diesem Zusammenhang sei auf die einschlägigen Forschungsarbeiten hingewiesen [8 - 10]. Im Prinzip ist man davon ausgegangen, daß der Abbrandfaktor als bezogene Größe darzustellen ist, wobei als Bezugswert ein sogenannter Bezugsstoff dient. Es ist kein Zufall, daß als Bezugsstoff Holzkrippen mit Lattenquerschnitten von 4 x 4 cm<sup>2</sup> Dicke gewählt wurden. Man war daran interessiert, einen Bezugsstoff zu wählen, dessen Abbrandverhalten möglichst reproduzierbar und weitestgehend erforscht ist.

Das Bemessungsverfahren gemäß Teil 2 der Norm sieht nun vor, daß die äquivalente Branddauer, die der zu untersuchende Stoff in einer bestimmten Meßanordnung erzeugt, gemäß Bild 9 auf den Bezugsstoff umgerechnet wird, d. h. 'm' ist ein Vervielfältigungsfaktor, mit dem eine beliebige Brandbelastung zu multiplizieren ist, um die ihr äquivalente Holzbrandbelastung mit  $m \equiv 1,0$  zu ermitteln. Die Meßanordnung selbst ist geeicht und in mehr als 250 Versuchen geprüft [8]. Ungewöhnlich schnelle oder langsame Abbrandgeschwindigkeiten und verzögert einsetzende Zündvorgänge (vergl. Bild 10) werden durch einen sogenannten Zeitfaktor  $k_t$  berücksichtigt. Die Zeitabläufe sind für den Bezugsstoff ermittelt und in der Normvorlage festgelegt.

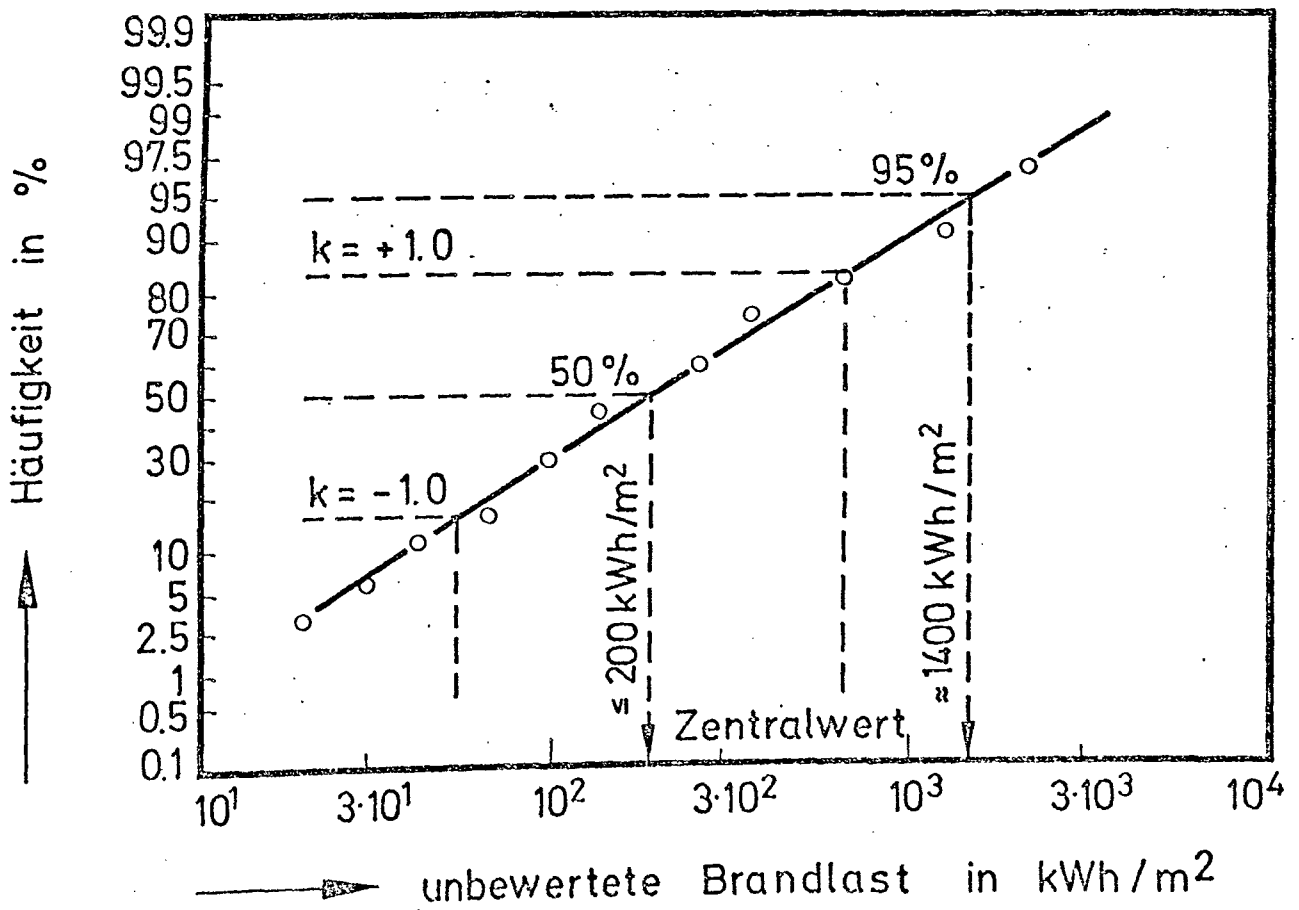
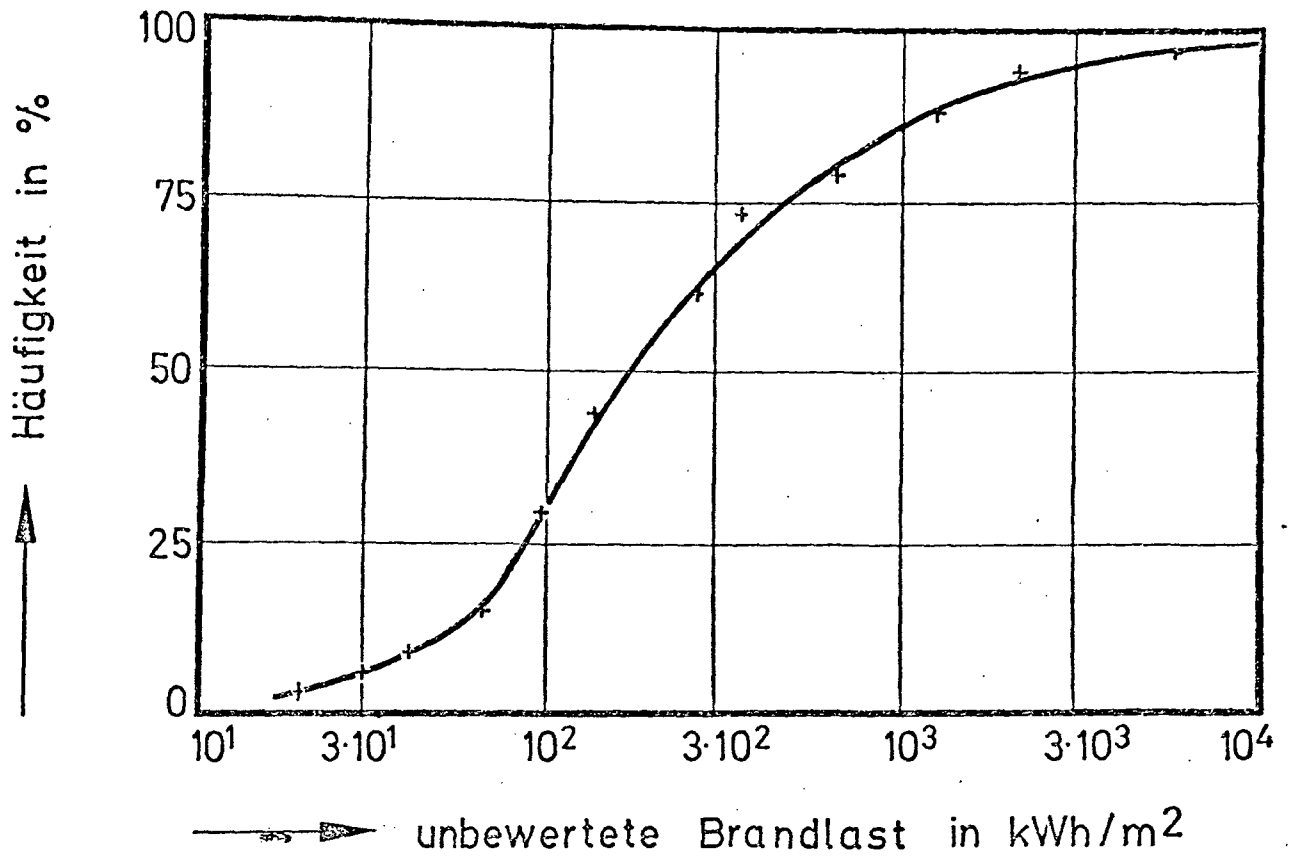


Bild 8: Brandlastverteilung im Industriebau nach [7]

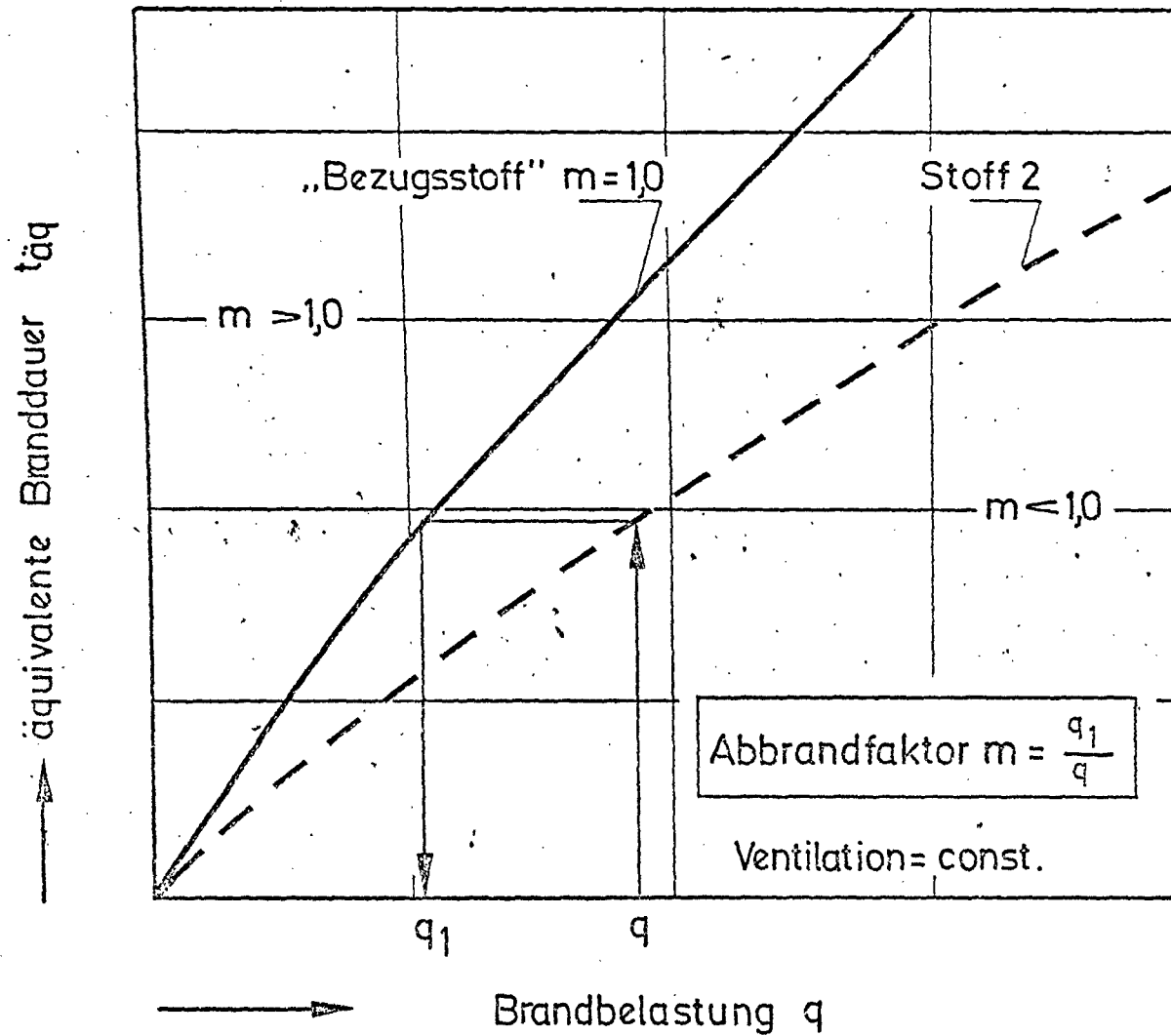


Bild 9: Ermittlung des Abbrandfaktors  $m$  nach DIN 18 230, Teil 2 (Zeitfaktor  $k_t \equiv 1$ )



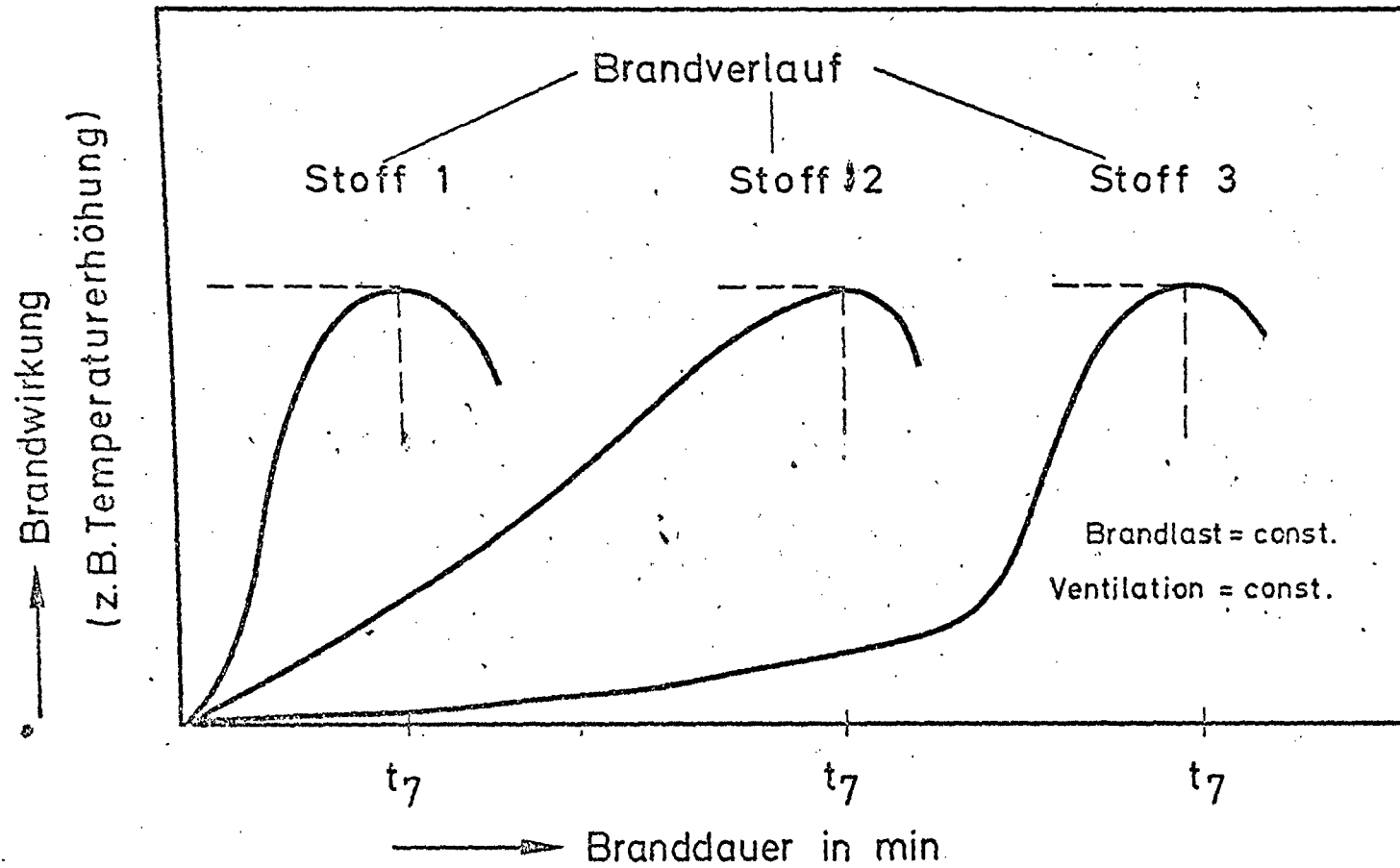


Bild 10: Unterschiedliche Brandverläufe von Stoffen (Ermittlung des Zeitfaktors  $k_t$ )

Eine ausführliche Beschreibung des Verfahrens ist in dem Normentwurf zu finden, so daß an dieser Stelle darauf nicht näher eingegangen wird.

Im Rahmen der vordem erwähnten statistischen Erhebungen wurden auch alle m-Faktoren für die unterschiedlichen Brandlasten in den untersuchten Industriegebäuden ermittelt und ausgewertet. Unter Berücksichtigung dieser Faktoren wurde die Brandlastverteilung erneut berechnet (s. Bild 11). Auch hierbei zeigte sich, daß eine logarithmische Normalverteilung vermutlich am ehesten geeignet ist, die bewertete Brandlastverteilung zu beschreiben. Der Zentralwert ergibt sich entsprechend Bild 11 zu  $120 \text{ kWh/m}^2$  (Holzgleichwert  $\sim 26 \text{ kg/m}^2$ ). Die 90 %-Fraktile liegt bei  $500 \text{ kWh/m}^2$ , die 95 %-Fraktile bei  $720 \text{ kWh/m}^2$ . Der aus den Zentralwerten der Bilder 8 und 11 berechnete mittlere m-Faktor liegt übrigens bei 0,6, d. h. anhand dieser vereinfachten Betrachtungsweise ergibt sich eine deutliche Beeinflussung der Brandbelastungen durch den Abbrandfaktor "m".

Hinsichtlich der Anwendung von DIN 18 230 ist bereits jetzt vorhersehbar, daß es bei der Festlegung von "m" zu Schwierigkeiten kommen wird. Die im Beiblatt des Normentwurfs festgelegten m-Faktoren reichen bei weitem nicht aus, um der Vielzahl von brennbaren Stoffen im Industriebau Rechnung zu tragen. Die Tabelle muß noch erheblich erweitert werden, da es vermutlich nicht möglich ist, noch während eines laufenden Baugenehmigungsverfahrens einzelne m-Faktoren zu bestimmen. Ähnliche Überlegungen gelten für die festzulegenden Heizwerte.

### 3.3. Einfluß des Wärmeabzugs

Der Wärmeabzugsfaktor w gemäß Tabelle 2 der Normvorlage soll den Einfluß der Ventilation auf das Brandgeschehen berücksichtigen. Bei geringer Be- und Entlüftung ergibt sich eine Verschärfung ( $w > 1,0$ ), im umgekehrten Fall sind Erleichterungen vorgesehen ( $w < 1,0$ ). Insbesondere werden auch die brandschutztechnischen Vorteile einer Dachentlüftung berücksichtigt, d. h. die horizontalen Rauch- und Wärmeabzugsflächen werden höher bewertet (Faktor  $k_f = 1$  bis 4, siehe Bild 1 der Normvorlage) als vertikale Fensterflächen.

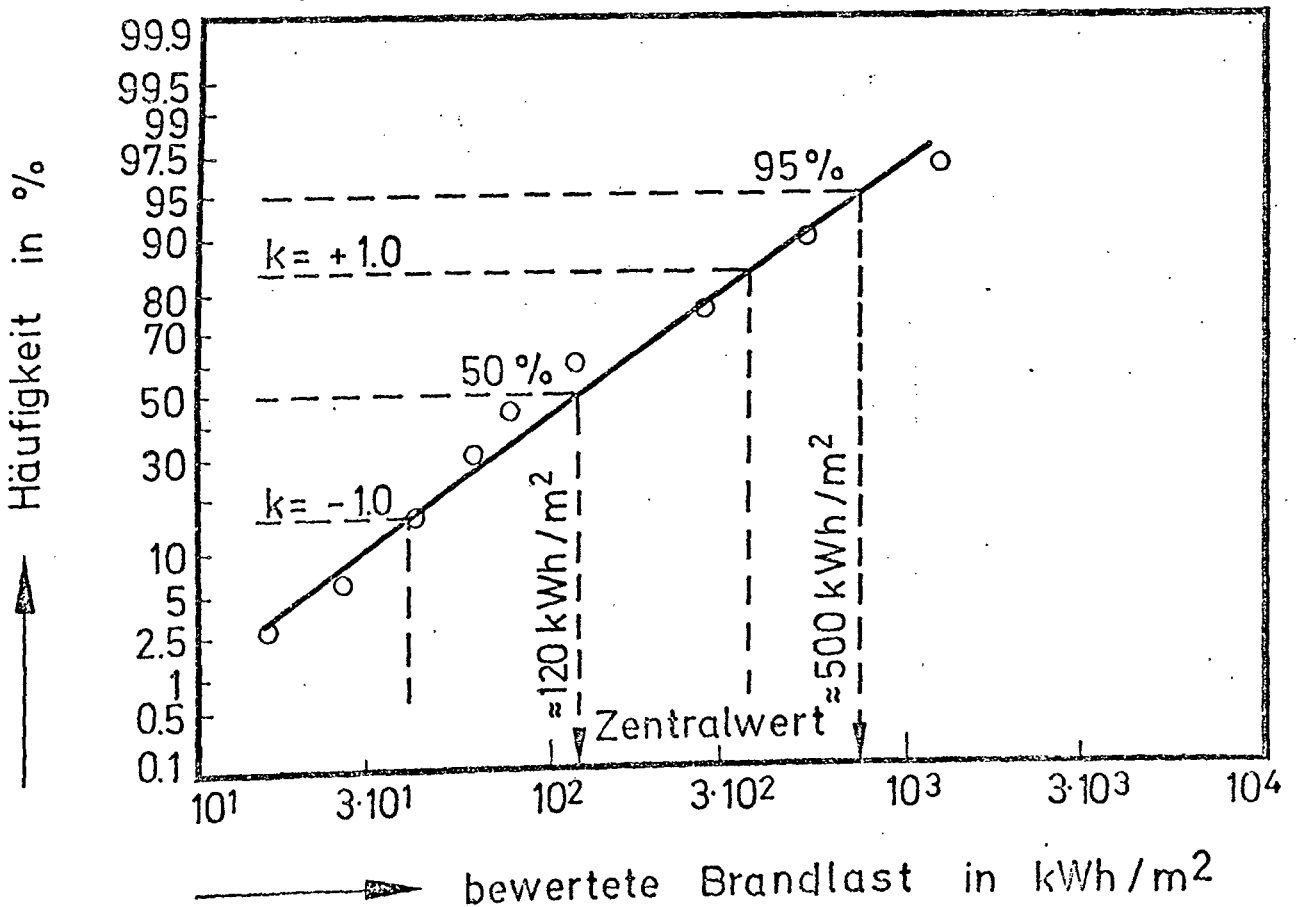
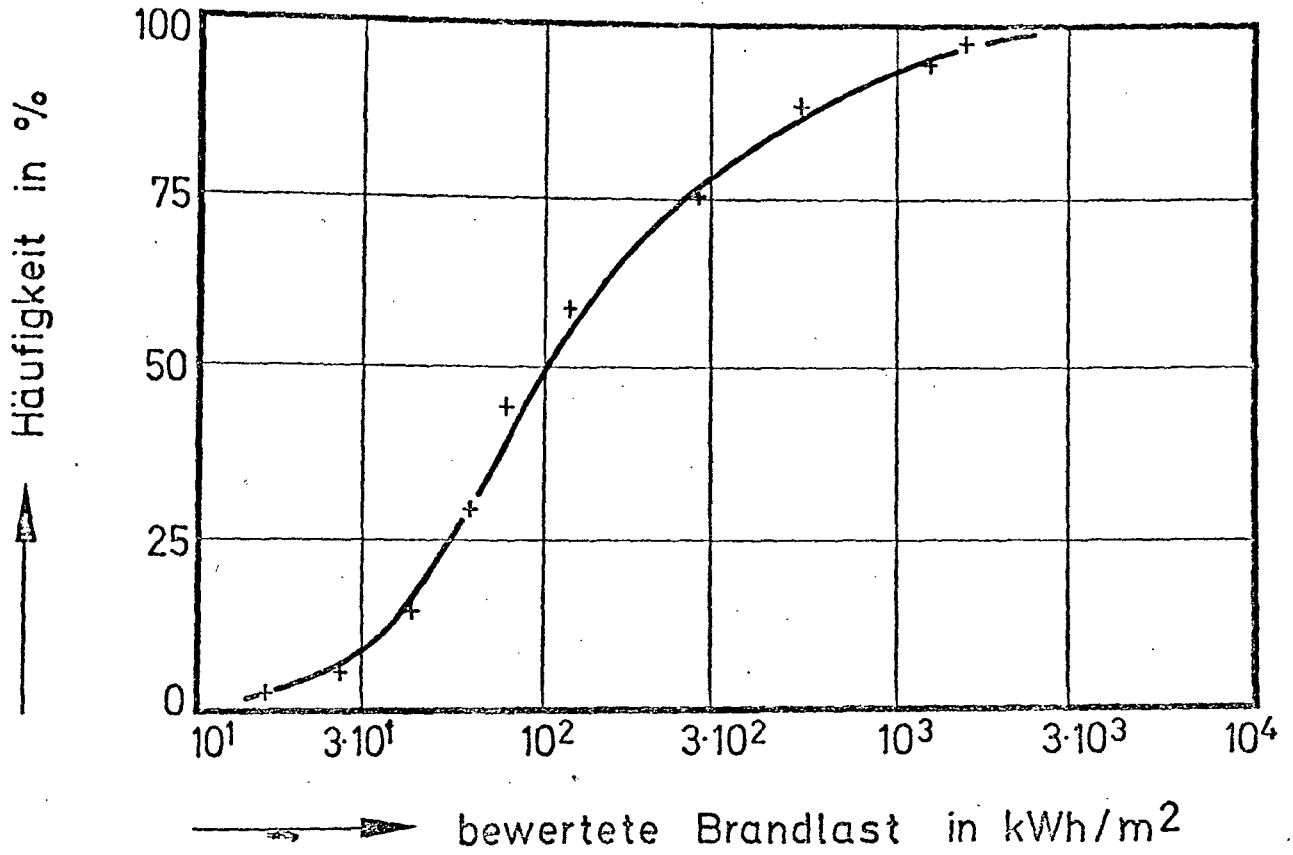


Bild 11: Verteilung der mit  $m$  bewerteten Brandlasten in Industriegebäuden nach [7]

Grundsätzlich ist eine solche Einteilung sinnvoll und zweckmäßig. Allerdings sind die Zusammenhänge zwischen Ventilation, Abbrandgeschwindigkeit und Energiefreisetzung einerseits und der Branddauer andererseits gegenwärtig nur zum Teil erforscht, so daß diesbezügliche Untersuchungen notwendig sind. Entsprechende Arbeiten sind im Rahmen der Bearbeitung von DIN 18 232 "Rauch- und Wärmeabzug bei Bränden" angelaufen, und es bleibt abzuwarten, welche ergänzenden Erkenntnisse dabei gewonnen werden. Soweit wir uns auf die Ergebnisse von Versuchsbränden, wie vordem beschrieben, beziehen können, erscheint die Annahme eines Wurzelgesetzes zur Erfassung des Ventilationseinflusses als gerechtfertigt. Der auf Bild 6 angegebene Faktor zur Normierung der Brandversuche bei unterschiedlichen Ventilationsbedingungen

$$\frac{A}{\sqrt{A_t \cdot A_v}} \quad (3)$$

ist in der Normvorlage aufgrund von Untersuchungen, die in Schweden [11] durchgeführt wurden, geringfügig modifiziert und lautet:

$$\frac{A}{\sqrt{A_t \cdot A_v} \sqrt{h}} \quad (4)$$

worin  $h$  die Fensterhöhe angibt. Auch die Annahme des Bezugswertes  $w \equiv 1,0$  für Räume mit einseitigen Öffnungen (s. Tabelle 2 der Norm) bei  $A_v/A = 0,20$  bis  $0,25$  liegt ungefähr in dem Bereich der auf Bild 6 angegebenen Beziehungen. Der Nachweis der Übertragbarkeit dieser in vergleichsweise kleinen Brandräumen gewonnenen Ergebnisse auf große Brandabschnitte steht wie erwähnt noch aus, für eine überschlägige Berechnung scheinen die vorgegebenen Tabellenwerte den praktischen Erfahrungen der Feuerwehren allerdings nicht zu widersprechen.

### 3.4. Streuung der äquivalenten Branddauer

In einem Brandraum befinden sich meistens mehrere Brandlasten  $q_i$  mit unterschiedlichen Abbrandfaktoren  $m_i$ . Diese werden für die Bemessung gemäß Gl. (1) oder (2) vorgegeben. Selbst bei bekannter Nutzung des Gebäudes - wie im Industriebau üblich - sind größere Abweichungen der zufällig vorhandenen Brandlasten von den Vorgabewerten wahrscheinlich. Die Brandlasten

streuen also, sie sind Zufallsvariablen. Die Wahrscheinlichkeitsverteilung der Brandlasten läßt sich, wie auf Bild 8 gezeigt, gut durch eine logarithmische Normalverteilung beschreiben. Da bei Industriegebäuden von einer festgelegten Nutzung ausgegangen werden muß, kann der Variationskoeffizient für die Brandlasten mit  $V_q = 0,2$  angenommen werden.

Die für die indirekte Bemessung maßgebende äquivalente Branddauer  $t_{\ddot{a}}$  streut nicht nur wegen der Unsicherheit in der Brandlastermittlung. Hinzu kommen Unsicherheiten der Bewertungsfaktoren  $m$  und  $w$  sowie des Umrechnungsfaktors  $c$ . Diese Faktoren werden durchweg experimentell bestimmt. Meßfehler, Unterschiede in den verschiedenen Versuchsständen und geringfügige systematische Fehler bei der Übertragung der Versuchsergebnisse in die Praxis resultieren in zusätzlichen Variationskoeffizienten von jeweils mindestens 10 %. Fehler in der Einstufung des Brandgutes oder der Feststellung der Brandraumgeometrie sind damit nicht erfaßt. Rechnen wir mit  $V_m = V_w = V_c = 0,1$ , so gilt für das Produkt  $t_{\ddot{a}}$  nach dem Fehlerfortpflanzungsgesetz bei Annahme von Gauß-Normalverteilungen für  $m$ ,  $w$  und  $c$  in erster Näherung

$$m_{t_{\ddot{a}}} \approx m_m \cdot m_w \cdot m_c \cdot m_q \quad (5)$$

$$V_{t_{\ddot{a}}} \approx \sqrt{V_m^2 + V_w^2 + V_c^2 + V_q^2} \quad (6)$$

Für Industrie- und andere Gebäude ergeben sich nach Hosser [12] etwa folgende Variationskoeffizienten:

T a b e l l e 4

Variationskoeffizienten von  $t_{\ddot{a}q}$  für unterschiedliche Gebäude

Gebäudeart	$V_{t_{\ddot{a}}}$
Industriegebäude	0,25
Bürogebäude	0,5
Wohngebäude	0,4
Schulen	0,3
Hotels	0,35

### 3.5. Streuung der Feuerwiderstandsdauer

Die Feuerwiderstandsdauer  $F$  von Bauteilen, Türen, Lüftungsklappen u. ä. wird in genormten Versuchen nach DIN 4102 ermittelt. Danach wird das geprüfte Bauteil in eine Feuerwiderstandsklasse  $F_N$  (Nennwert) eingestuft. Die Feuerwiderstandsdauer  $F$  der in einem Gebäude eingebauten Teile kann von der in Einstufungsprüfungen festgestellten Feuerwiderstandsklasse  $F_N$  zufällig abweichen. Auch sie ist damit eine Zufallsvariable. Ursache für die Abweichungen sind sowohl die zufälligen Streuungen der für das Trag- und Verformungsverhalten der Teile entscheidenden Abmessungen und Materialeigenschaften als auch die im Bauwerk gegebenen Randbedingungen (z. B. Auflagerbedingungen, Lage des Brandherdes, Belastung usw.). Die Sicherheit der Bauteile im Bauwerk unter Brandeinwirkung muß somit auch auf der Grundlage einer probabilistischen Betrachtung abgeschätzt werden.

Solche Untersuchungen werden derzeit im Rahmen der Arbeiten des Sonderforschungsbereichs 148 "Brandverhalten von Bauteilen" durchgeführt [13]. Erste Ergebnisse, die anhand von Traglastuntersuchungen an Stützen unter Brandeinwirkung gewonnen wurden, können hier mitgeteilt werden. In der Monte-Carlo-Studie wurden folgende Einflußgrößen berücksichtigt:

- Geometrie (Stützbreite, -höhe, Bewehrungslage),
- Temperatur und Feuchtigkeit des Betons,
- Betonfestigkeit in Abhängigkeit von der Temperatur,
- Stahlfestigkeit in Abhängigkeit von der Temperatur.

Die berechneten Variationskoeffizienten lagen bei  $0,1 \leq V_F \leq 0,2$ . Auf Bild 12 ist eine der berechneten Verteilungsfunktionen als Beispiel für die untersuchten Stützen angegeben. Der gemessene Versagenszeitpunkt von 64 Minuten Branddauer entspricht etwa der 5 %-Fraktile der Verteilungsfunktion. Der Mittelwert der Funktion liegt bei 73,4 Minuten, der Variationskoeffizient beträgt 13,3 %.

Rechnet man für die Gruppe der Unsicherheiten infolge geometrischer und materialspezifischer Einflüsse mit  $V_{F1} \approx 0,15$  und für die Gruppe der Einflüsse aus bauwerksspezifischen Randbedingungen mit  $V_{V2} \approx 0,1$ , so erhalten wir für die Feuerwiderstandsdauer  $F$  einen Variationskoeffizienten  $V_F$  von 0,2. Die Feuerwiderstandsklasse  $F_N$  als Nennwert entspricht je nach vorgegebener Belastung einer 5- bis 25 %-Fraktile, im Mittel einer 10 %-Fraktile der Feuerwiderstandsdauer  $F$ .

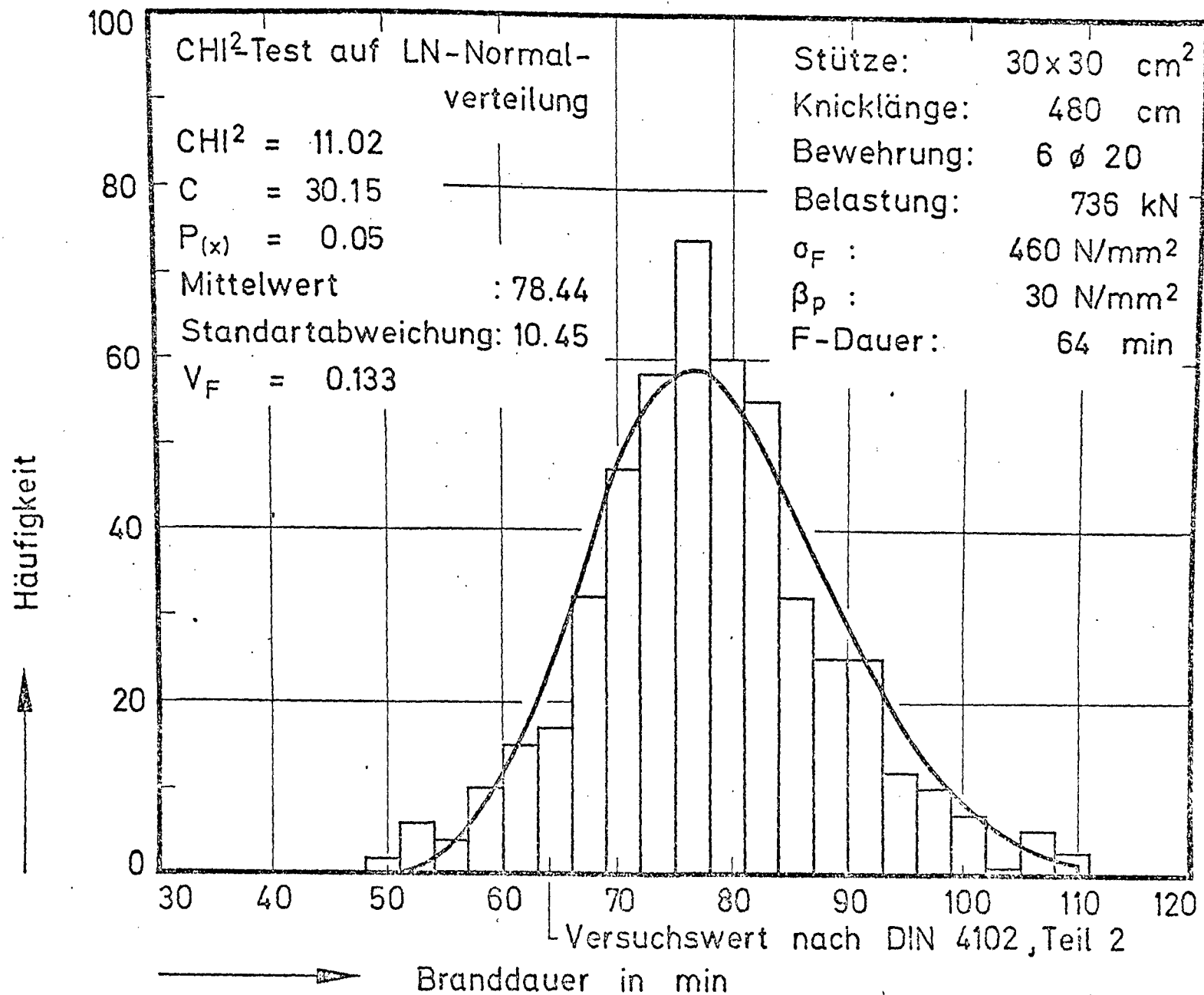


Bild 12: Häufigkeitsverteilung der Feuerwiderstandsdauer einer tragenden Stahlbetonstütze im Normbrand

#### 4. Sicherheitskonzept für den baulichen Brandschutz

##### 4.1. Der Brand als stochastischer Prozeß

Zur Ermittlung der erforderlichen Feuerwiderstandsdauer gemäß Abschnitt 3.1 Gl. (2) werden die Sicherheitsbeiwerte  $\gamma$  und  $\gamma_{nb}$  benötigt, die naturgemäß auf die Auftretenswahrscheinlichkeit von gefährlichen Bränden abzustimmen sind. Die Sicherheitsbeiwerte sind in den Tabellen 4, 5 und 6 der Normentwurfs angegeben. Grundlage dieser Werte ist das Sicherheitskonzept für den baulichen Brandschutz [14], worauf im folgenden näher eingegangen wird. - Brände sind zufällige, seltene Ereignisse, deren Auftreten sich durch einen für solche Ereignisse geeigneten stochastischen Poissonprozeß vorhersagen läßt. Die mittlere Auftretensrate  $\lambda_b$  von Bränden in einem vorgegebenen Zeitraum hängt sehr stark von der Art und Lage eines Gebäudes sowie der Größe und Nutzung des betrachteten Brandabschnitts ab. Aus Versicherungsstatistiken sind Auftretensraten  $\lambda_b$  für verschiedene Gebäude- und Nutzungsarten bekannt.

Die Auftretenswahrscheinlichkeit  $p$  von gefährlichen Bränden je Flächeneinheit der Brandabschnittsfläche  $A$  ist durch

$$\lambda_b = 1 - (1 - p)^A \quad (7)$$

mit der Auftretensrate in einem vorgegebenen Zeitraum verknüpft. Dabei wird vorausgesetzt, daß ein Brand unabhängig von der übrigen Fläche auf jedem Quadratmeter des Brandabschnitts auftreten kann. In [14] wird die Auftretenswahrscheinlichkeit  $p$  noch weiter aufgespalten in eine mittlere Auftretenswahrscheinlichkeit  $p_1$  von Feuer, einer Wahrscheinlichkeit  $p_2$ , daß sich daraus ein gefährlicher Brand entwickelt und einer Wahrscheinlichkeit  $p_3$ , daß dieser Brand durch geeignete Brandbekämpfungsanlagen oder -maßnahmen unmittelbar gelöscht wird.

Dem Normentwurf liegen bei mittleren Verhältnissen folgende Teil-Auftretenswahrscheinlichkeiten zugrunde, die multiplikativ zu verknüpfen sind

- $p_1 \approx 2 \cdot 10^{-6}$  : mittlere Auftretenswahrscheinlichkeit von Feuer
- $p_2 \approx 10^{-1}$  : gefährlicher Brand (flash over)
- $p_3 \approx 10^{-2}$  : zusätzliche automatische Brandbekämpfung



Damit gilt als Auftretenswahrscheinlichkeit für mindestens einen gefährlichen Brand:

$$p_b = p[v > 0] = 1 - e^{-\lambda_b \cdot T} \quad \text{mit } T = \text{Nutzungszeitraum} \quad (8)$$

Wenn die bedingte Wahrscheinlichkeit  $p_{fb}$ , daß im Falle eines gefährlichen Brandes ein Bauteil versagt, bekannt ist, kann die Versagenswahrscheinlichkeit  $p_f$  des Bauteils durch Brand wie folgt bestimmt werden:

$$p_f = 1 - e^{-\lambda_b \cdot T \cdot p_{fb}} \approx p_b \cdot p_{fb} \quad (9)$$

mit  $p_b$  = Auftretenswahrscheinlichkeit zumindest eines gefährlichen Brandes

$p_{fb}$  = bedingte Wahrscheinlichkeit des Versagens eines Bauteils in einem gefährlichen Brand

Die probabilistische Sicherheitstheorie hat zum Ziel, durch die Bemessung die Versagenswahrscheinlichkeit  $p_f$  eines Bauteils auf einen hinreichend kleinen Wert zu begrenzen. Bei der brandschutztechnischen Bemessung genügt es, das Bauteil auf eine bedingte Wahrscheinlichkeit  $p_{fb}$  auszulegen, damit eine bestimmte Versagenswahrscheinlichkeit  $p_f$  nicht überschritten wird. Da in der Regel  $p_b < 1$  ist, sind die Sicherheitsanforderungen für die brandschutztechnische Bemessung geringer als die für den Standsicherheitsnachweis. *bei kleineren Werten*

#### 4.2. Zuverlässigkeit als Maß für die Sicherheit

Bei der indirekten brandschutztechnischen Bemessung wird die äquivalente Branddauer  $t_{\text{äq}}$  der Feuerwiderstandsdauer  $F$  eines Bauteils gegenübergestellt. Nach 3.4 und 3.5 sind sowohl  $t_{\text{äq}}$  als auch  $F$  Zufallsvariablen mit zum Teil beträchtlichen Streuungen. Daher genügt es nicht, den Nennwert  $F_N$  annähernd gleich dem Nennwert  $t_{\text{äN}}$  zu wählen. Vielmehr ist durch den Sicherheitsbeiwert ein ausreichender Sicherheitsabstand zwischen diesen Nennwerten herzustellen.

Durch den Sicherheitsbeiwert  $\gamma$  kann die Versagenswahrscheinlichkeit  $p_f$  direkt beeinflusst und damit beliebig gesenkt werden. Das Bauteil wird dadurch zwar nicht sicher im eigentlichen Sinne, aber zuverlässiger. Da die Bemessungsgleichung (2) nur durch zwei voneinander unabhängige Zufallsvariablen, die "Einwirkung"  $t_{\text{äq}}$  und den "Widerstand"  $F$ , linear verknüpft ist, kann nach der Wahrscheinlichkeitstheorie die bedingte Wahrscheinlichkeit eines Versagens  $p_{fb}$  relativ einfach berechnet werden. Sie ergibt sich nämlich als Wahrscheinlichkeit, daß die Linearkombination (Sicherheitszone)

$$Z = F - t_{\ddot{a}q} \quad (10)$$

kleiner oder gleich Null wird. Setzen wir zunächst voraus, daß die Funktionen von  $F$  und  $t_{\ddot{a}q}$  einer Gaußschen Normalverteilung gehorchen, dann folgt auch die Sicherheitszone  $Z$  gemäß Bild 13 einer Gauß-Normalverteilung mit dem Mittelwert

$$m_Z = m'_F - m'_{t\ddot{a}} \quad (11)$$

und der Standardabweichung

$$\sigma_Z = \sqrt{\sigma'^2_F + \sigma'^2_{t\ddot{a}}} \quad (12)$$

Der Tatsache, daß sowohl  $t_{\ddot{a}q}$  als auch  $F$  logarithmisch normalverteilt sind, kann durch eine Anpassung der Funktionen im maßgebenden Bereich an eine gewöhnliche Normalverteilung Rechnung getragen werden. Die Wahrscheinlichkeit des Versagens im Brand  $p_{fb} = p [Z \leq 0]$  ergibt sich als Funktionswert  $F_Z (z = 0)$  der Verteilung der Sicherheitszone  $Z$  an der Stelle  $z = 0$ . Da  $Z$  normalverteilt ist, gilt

$$p_{fb} = F_Z (z=0) = \Phi \left( - \frac{m_Z}{\sigma_Z} \right) \quad (13)$$

Die Funktionswerte  $\Phi$  der standardisierten Normalverteilung liegen in einschlägigen Tafelwerken vor; sie sind durch das Verhältnis

$$\beta_b = \frac{m_Z}{\sigma_Z} = \Phi^{-1} (1 - p_{fb}) \quad (14)$$

eindeutig bestimmt. Dieses Verhältnis  $\beta_b$  ist als Sicherheitsindex für den Brandschutz definiert.

Ist die richtige Größenordnung des Sicherheitsindex  $\beta_b$  gefunden, so können daraus geeignete Sicherheitselemente, bezogen auf die Nennwerte von  $T_{\ddot{a}N}$  und  $F_N$ , für die praktische Bemessung gewonnen werden. Zunächst sollen die Nennwerte  $t_{\ddot{a}N}$  und  $F_N$  als Fraktilen der gegebenen logarithmischen Normalverteilungen angesprochen werden. Mit den Zentralwerten  $\check{t}_{\ddot{a}}$  und  $\check{F}$ , sowie den Variationskoeffizienten  $V_{t\ddot{a}}$  und  $V_F$  lauten sie

$$t_{\ddot{a}N} = \check{t}_{\ddot{a}} \cdot \exp (k_{t\ddot{a}} \cdot \sigma_{\ln t\ddot{a}}) \quad (15)$$

$$F_N = \check{F} \cdot \exp (k_F \cdot \sigma_{\ln F}) \quad (16)$$

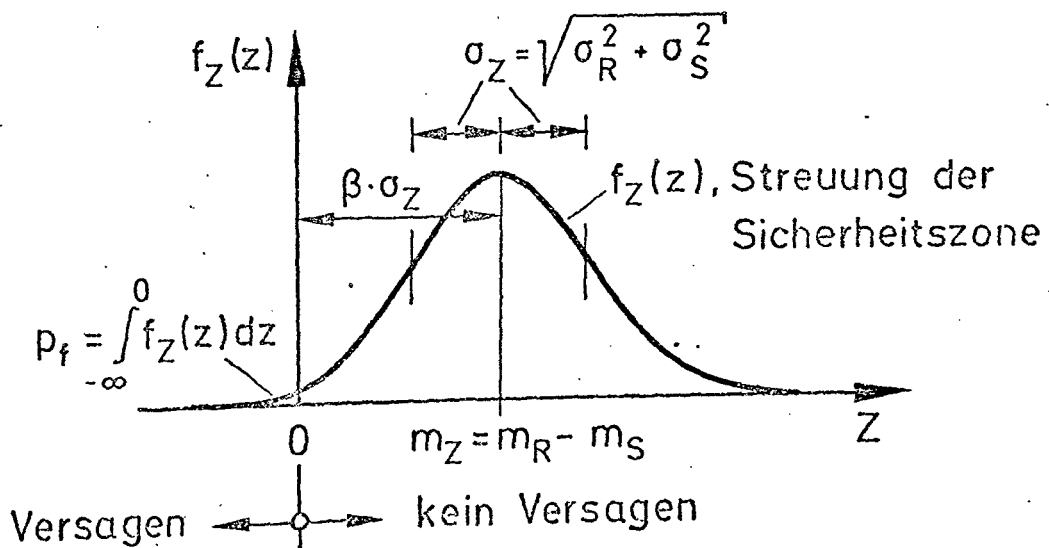
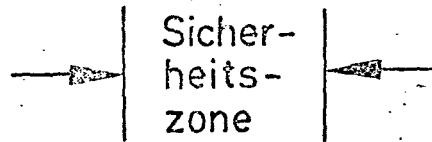
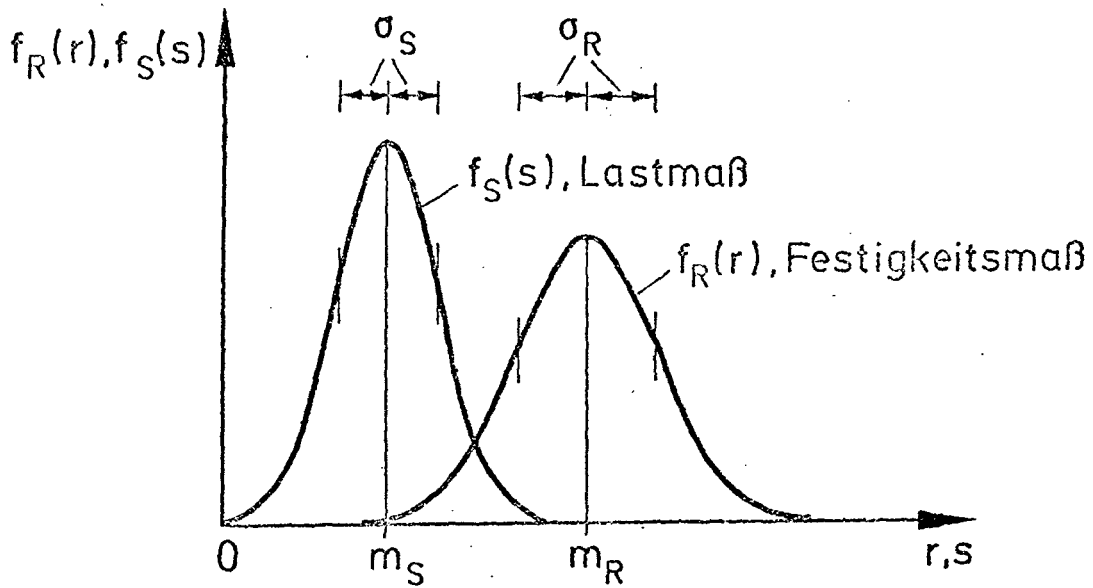


Bild 13: Versagenwahrscheinlichkeit und Sicherheitszone eines Bauteils

Für den auf die Nennwerte bezogenen Sicherheitsbeiwert erhält man aus der Definition

$$\gamma^* = \frac{F_N}{t_{aN}} \quad (17)$$

schließlich folgende Gleichung:

$$\gamma^* = \exp [(\alpha_F \cdot \beta_b + k_F) \cdot \sigma_{\ln F} - (\alpha_{t\dot{a}q} \cdot \beta_b + k_{t\dot{a}q}) \cdot \sigma_{\ln t\dot{a}q}] \quad (18)$$

Darin bedeuten:

- $\beta_b$  den Sicherheitsindex,
- $\alpha_F$  und  $\alpha_{t\dot{a}q}$  Liniarfaktoren, die durch die Streuungen  $\sigma_{\ln F}$  und  $\sigma_{\ln t\dot{a}q}$  bestimmt sind,
- $k_F$  und  $k_{t\dot{a}q}$  Fraktilfaktoren; z. B. wird für die 90 %- bzw. 10 %-Fraktile  $k_{t\dot{a}} = -k_F = 1,28$ .

Ausführliche Darstellungen des Sicherheitskonzepts des Normentwurfs sind in den Arbeiten von Bub 14 und Hosser 12 zu finden, worauf in diesem Zusammenhang ausdrücklich hingewiesen wird. Für den Anwender der Norm sind diese Informationen sicherlich von untergeordneter Bedeutung, im Rahmen dieser Arbeit schien es jedoch richtig, auch auf die Zusammenhänge, die zur Festlegung der Sicherheitsfaktoren geführt haben, einzugehen.

#### 4.3. Versagenswahrscheinlichkeit im Brandfall

Die Größe des erforderlichen Sicherheitsindex  $\beta_b$  ist zunächst noch offen. In dem Normentwurf wird daher, wie in [14] vorgeschlagen, diejenige Zuverlässigkeit gefordert, die durch die bisher geltenden Sicherheitsanforderungen im Brandschutz im Mittel erzielt wird. Vergleichsrechnungen zeigen, daß bei Brandabschnittsgrößen in der Nähe des auf Bild 14 angegebenen Zentralwerts (zul A = 2500 m<sup>2</sup>) etwa folgende Versagenswahrscheinlichkeiten  $p_f$  toleriert werden:

- bei Teilen des Haupttragwerks (Brandsicherheit sklasse  $SK_b 3$ ) :  $p_{f3} \approx 10^{-4}$
- bei sonst. wichtigen Bauteilen (Brandsicherheitsklasse  $SK_b 2$ ) :  $p_{f2} \approx 10^{-3}$
- bei untergeordneten Bauteilen (Brandsicherheitsklasse  $SK_b 1$ ) :  $p_{f1} \approx 10^{-2}$

Allgemein ist bei größeren Brandabschnittsflächen  $A > \text{zul } A$  eine Tendenz zu aufwendigerem baulichen Brandschutz, bei kleineren Flächen dagegen zu geringerem baulichen Brandschutz festzustellen. Dieser auf Wirtschaftlichkeits- und anderen Überlegungen basierenden Tatsache wird in dem Normentwurf dadurch Rechnung getragen, daß die oben genannten Versagenswahrscheinlichkeiten  $p_{fi}$  nach der Brandabschnittsfläche  $A$  gewichtet werden:

$$p'_{fi} = p_{fi} \cdot \frac{\text{zul } A}{A} \quad (19)$$

wobei  $\text{zul } A = 2500 \text{ m}^2$  beträgt - in Übereinstimmung mit dem gefundenen Zentralwert (vergl. Bild 14). Der erforderliche Sicherheitsindex  $\beta_b$  errechnet sich für die einzelnen Brandsicherheitsklassen und eine vorgesehene Nutzungsdauer von 50 Jahren mit  $p'_{fi}$  aus Gl. (19) und der für die spezielle Gebäudeart und Nutzung geltenden Auftretenswahrscheinlichkeit von gefährlichen Bränden  $p$  nach Gl. (7), (8), (9) und (14).

#### 4.4. Korrekturwert $\gamma_{nb}$

Die so ermittelten Sicherheitsindizes  $\beta_b$  gelten für mittlere Verhältnisse, also für die überwiegende Zahl der Bemessungsfälle. Abweichungen von diesen Werten können einmal auf einer veränderten Brandgefahr (Auftretenswahrscheinlichkeit  $p$ ), zum anderen auf einem geänderten Zuverlässigkeitsbedürfnis (Zielversagenswahrscheinlichkeit  $p_{fi}$ ) beruhen. Zu der ersten Gruppe - veränderte Brandgefahr - gehören z. B. der Einbau automatischer Brandbekämpfungsanlagen oder eine schlagkräftige Werkfeuerwehr. Hierdurch werden die Anteile  $p_2$  und  $p_3$  der Auftretenswahrscheinlichkeit  $p$  gesenkt. Ein erhöhtes Zuverlässigkeitsbedürfnis ist meist im Schutz besonders wertvoller oder empfindlicher Einrichtungen oder Lagergüter begründet (Sachschutz).

Allgemein wirkt sich ein geänderter Sicherheitsindex  $\beta_b$  über Gl. (18) direkt auf den Sicherheitsbeiwert  $\gamma$  aus. Ist dieser für den bei mittleren Verhältnissen gültigen Sicherheitsindex  $\beta_{bm}$  bereits vorgegeben, so kann die Änderung durch Multiplikation mit dem Korrekturwert  $\gamma_{nb}$  berücksichtigt werden. In Tabelle 6 des Normentwurfs sind entsprechende Werte für  $\gamma_{nb}$  angegeben.

#### 4.5. Kombinationsbeiwerte $\Psi$

Normalerweise wird davon ausgegangen, daß bei einem gefährlichen Brand alle Brandlasten  $q_i$  eines Brandabschnittes gleichzeitig abbrennen können. Sie werden zu einer Gesamtbrandbelastung zusammengefaßt, weil sie sich gegenseitig entzünden können; sie sind - statistisch gesehen - voneinander abhängig. Gerade im Industriebau sind aber brennbare Stoffe oft in Behältern (z. B. Fässern oder Tanks) eingeschlossen. Dadurch ist die Entzündung im Brandfall wesentlich behindert - sofern Explosion ausgeschlossen ist. Solche Brandlasten sind von den anderen unabhängig. Man kann davon ausgehen, daß die geschützten Brandlasten nicht alle gleichzeitig die ungünstig angesetzten Nennwerte überschreiten.

In [14] werden für die Kombination mehrerer unabhängiger Lasten Kombinationsbeiwerte  $\Psi$  eingeführt; damit können einzelne Lasten bei der Kombination mit anderen abgemindert werden. Ähnlich lassen sich auch die Brandlasten kombinieren. In der Norm ist dafür die Beziehung

$$q = q_u + \sum_{i=1}^n \Psi_{gi} \cdot q_{gi} \quad (20)$$

vorgesehen. Darin bedeuten:

$q_u$  = gesamte ungeschützte Brandlast,  
 $q_{gi}$  = geschützte Brandlasten,  
 $\Psi_{gi}$  = Kombinationsbeiwerte für geschützte Brandlasten.

Der Einfachheit halber sind in Gl. (20) die Abbrandfaktoren 'm' als in  $q$ ,  $q_u$  und  $q_{gi}$  eingeschlossen gedacht. Die entsprechenden  $\Psi$ -Werte sind in Tabelle 1 der Norm zu finden.

## 5. Untersuchungen an bestehenden Gebäuden

### 5.1. Verteilung der Brandabschnittsgrößen

Im Rahmen des bereits erwähnten Forschungsvorhabens wurden die brandschutztechnisch relevanten Daten von 33 Industrieobjekten gesammelt und statistisch ausgewertet. Die gesamte untersuchte Brandabschnittsfläche umfaßt  $142.462 \text{ m}^2$ . Der arithmetische Mittelwert für die Größe der Brandabschnitte ergibt sich somit zu  $4.317 \text{ m}^2$ . Einen Überblick über die Untersuchungsergebnisse gibt Bild 14. Eine halblogarithmische Darstellung der Summenhäufigkeit der Brandabschnittsgrößen (s. Bild 14, oben) deutet darauf hin, daß diese bei den untersuchten Gebäude vermutlich einer logarithmischen Normalverteilung unterliegen. Eine entsprechende Auftragung im Wahrscheinlichkeitspapier bestätigt diese Vermutung. Abgesehen von einer kleinen Unregelmäßigkeit bei  $1000 \text{ m}^2$  Brandabschnittsgröße läßt sich die Verteilung der Brandabschnitte in Industriegebäuden annähernd durch eine Geradengleichung mit einem Zentralwert knapp unter  $2500 \text{ m}^2$  wiedergeben. Dieser Wert entspricht wie in Abschnitt 4.3 erwähnt genau dem in DIN 18 230 bei der Ermittlung der Versagenswahrscheinlichkeiten zugrunde gelegten ideellen Bezugswert der Brandabschnittsgrößen für eingeschossige Industriegebäude.

Es soll hier keinesfalls unterstellt werden, daß die hier angegebenen Häufigkeitsverteilungen für den gesamten Industriebau repräsentativ sind. Es besteht jedoch Grund zu der Annahme, daß auch wesentlich umfangreichere Untersuchungen die hier vorgelegten Ergebnisse nicht grundlegend ändern würden. Insbesondere die festgestellte Unregelmäßigkeit der Verteilungsfunktion zwischen  $1000 \text{ m}^2$  und  $2000 \text{ m}^2$  zeigt, daß sich der in vielen Bauordnungen verankerte Wert von  $1600 \text{ m}^2$  hier bemerkbar macht. Andererseits deutet der festgestellte Zentralwert von knapp  $2.500 \text{ m}^2$  darauf hin, daß im Industriebau eine deutliche Tendenz in Richtung größerer Brandabschnitte als  $1.600 \text{ m}^2$  besteht.

In diesem Zusammenhang wurde auch die Frage untersucht, inwieweit die in DIN 18 230 Anhang 2 vorgesehenen zulässigen Brandabschnittsgrößen von den untersuchten Objekten eingehalten werden. Auf Bild 15 ist deshalb in Abhängigkeit von den Brandabschnittsgrößen die Häufigkeit der eingehaltenen bzw. nicht eingehaltenen zulässigen Brandabschnittsflächen  $A_{\text{zul}}$  angegeben. Man erkennt zunächst, daß sich die individuellen Häufigkeitspunkte relativ

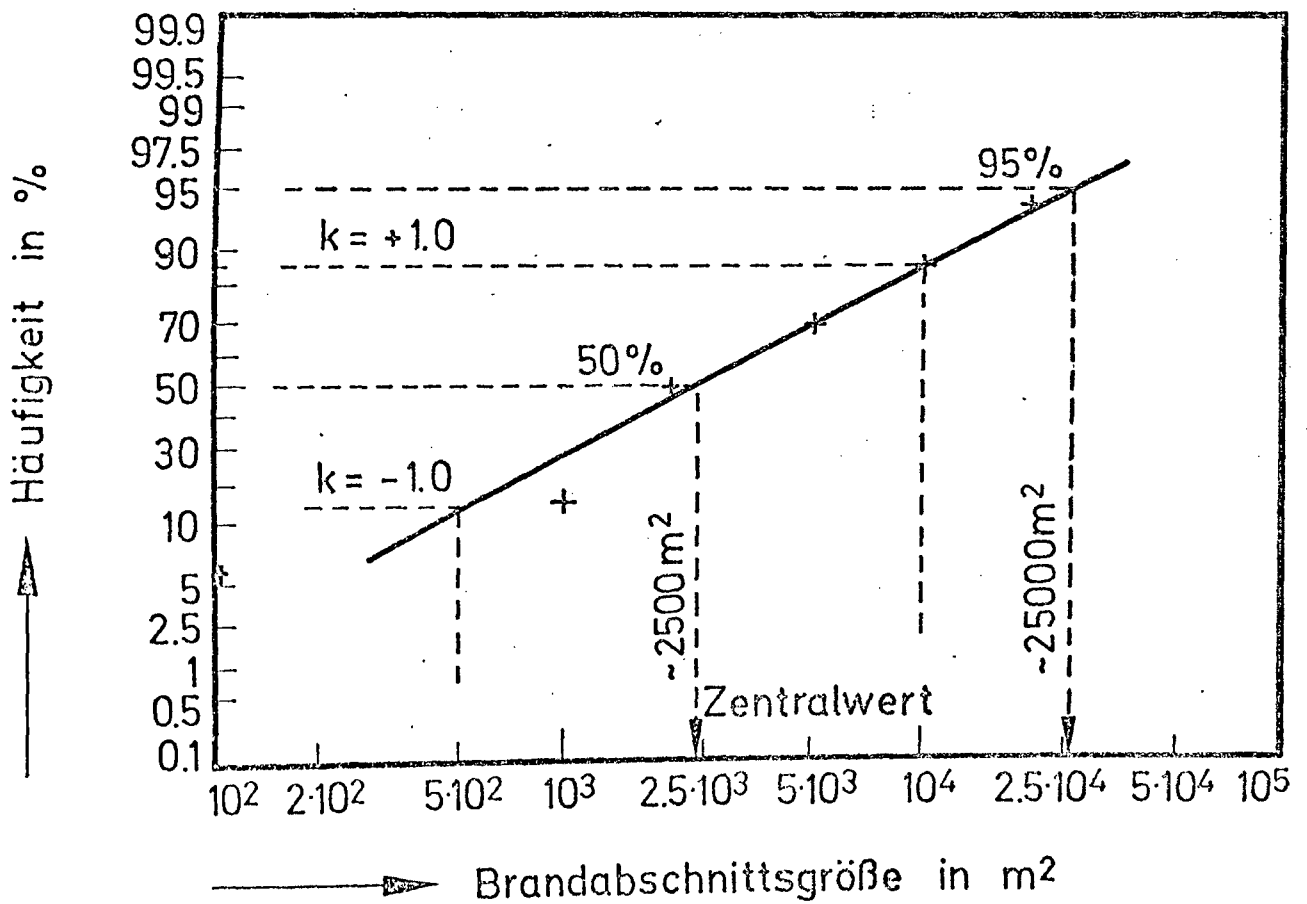
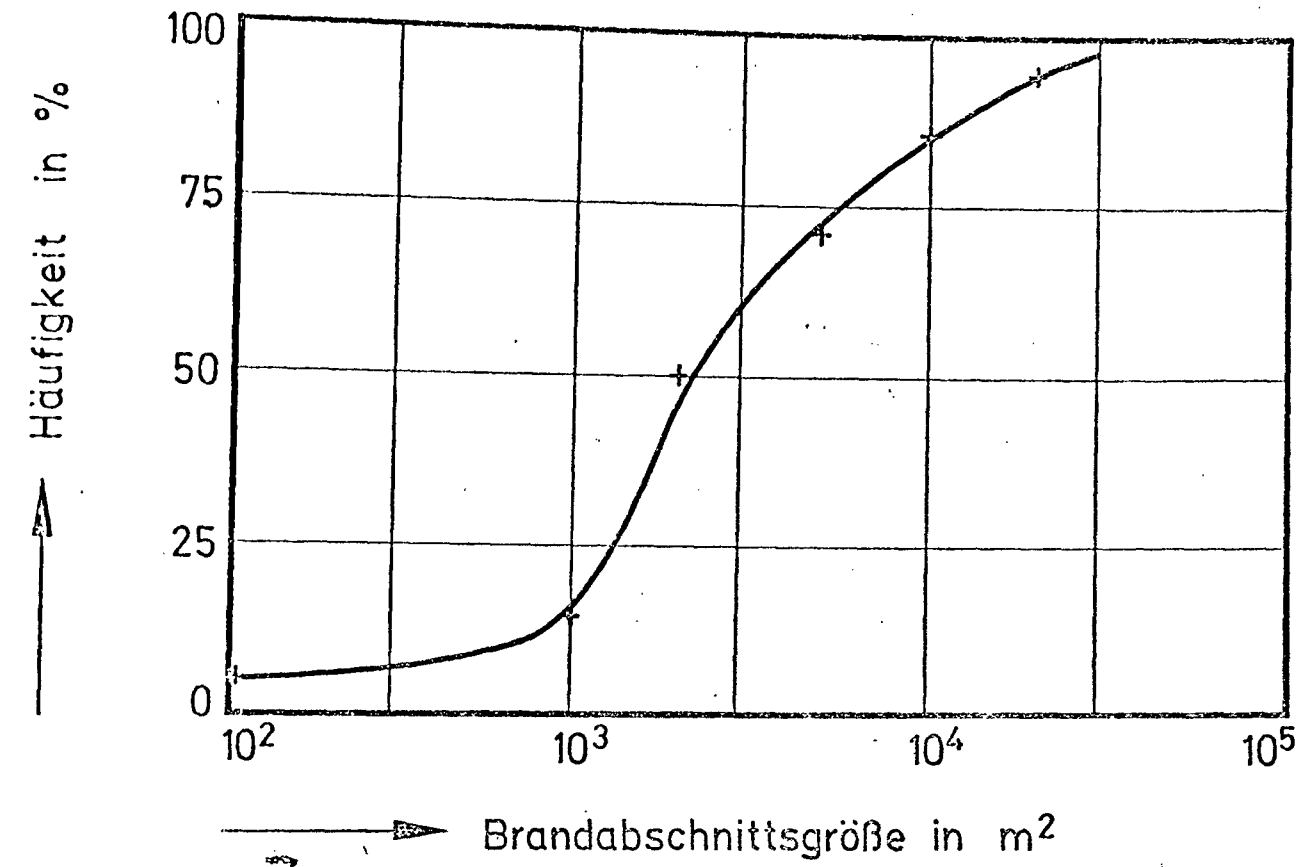


Bild 14: Häufigkeitsverteilung der Brandabschnittsgrößen in Industriegebäuden nach [7]



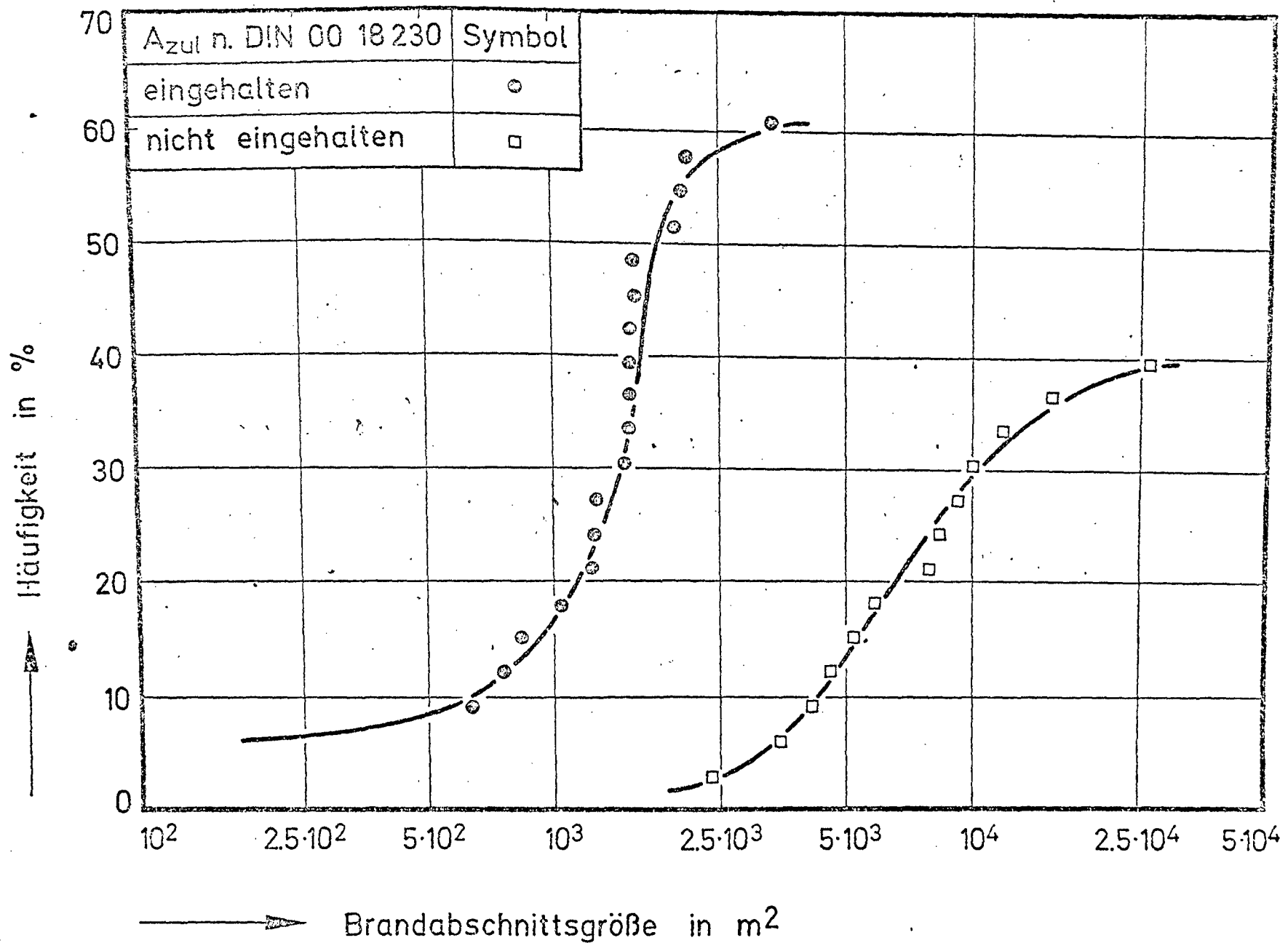


Bild 15: Vergleich der gemäß DIN 18 230 zulässigen Brandabschnittsflächen mit den in bestehenden Industriegebäuden realisierten Brandabschnitten nach [7]

gut durch "glatte" Kurven wiedergeben lassen, ein Hinweis darauf, daß die gewählte Art der Darstellung durchaus sinnvoll und zweckmäßig ist. Weiterhin zeigt sich, daß in 60 % aller Fälle die nach den Tabellen B und C der Norm zulässigen Brandabschnittsflächen eingehalten sind. Immerhin 40 % der Gebäude liegen somit außer- bzw. oberhalb der Norm. Insbesondere im Bereich größerer Brandabschnitte sind Überschreitungen der Norm vergleichsweise häufig, wohingegen um  $1600 \text{ m}^2$  eine erklärbare Tendenz besteht, die zulässigen Flächen einzuhalten. Insgesamt läßt sich aus dem Vorstehenden folgern, daß der früher vielfach erhobene Vorwurf, die in DIN 18 230 vorgesehenen Brandabschnittsgrößen lägen weit außerhalb dessen, was bisher als gut und richtig erkannt wurde, nach diesen Ergebnissen etwas überholt erscheint.

## 5.2. Ausgeführte und nach DIN 18 230 berechnete Brandschutzklassen

Die untersuchten Industrieobjekte wurden auch hinsichtlich ihrer Bauausführung beurteilt, d. h. es wurde festgestellt, in welcher Feuerwiderstandsklasse die Bauwerke jeweils ausgeführt waren. Daneben wurde rechnerisch die gemäß DIN 18 230 erforderliche Feuerwiderstandsdauer der Bauteile ermittelt. Im folgenden werden die Ergebnisse der Untersuchungen diskutiert. Bild 16 gibt zunächst einen Überblick über die in der Erhebung vorgefundene Häufigkeit einzelner Brandschutzklassen, wobei in der Bewertung jeweils die Bauteile der Sicherheitsklasse  $SK_b 3$  (Haupttragwerk) zugrunde gelegt wurden.

Es wird deutlich, daß die ausgeführten Stahlkonstruktionen im wesentlichen in der Brandschutzklasse I angesiedelt werden können, wohingegen die Stahlbetonkonstruktionen ab Brandschutzklasse III eindeutig vorherrschen. Mit zunehmender Brandgefahr - und die Brandschutzklasse ist sicherlich ein entsprechender Indikator - nimmt die Häufigkeit der Massivbauweise deutlich zu, ein Ergebnis, das durchaus unseren gegenwärtigen Erfahrungen entspricht, jedenfalls soweit auf den Industriebau im deutschen Raum abgehoben wird. Interessant ist auch die Beobachtung, daß die Brandschutzklasse II nicht besetzt ist. Auf die gegenwärtige Situation bezogen bedeutet dies, daß reine "F 30"-Konstruktionen praktisch nicht existieren bzw. - da die vorliegende Statistik sicherlich nicht umfassend genug ist - vergleichsweise selten errichtet werden.

Außerdem wurde für alle untersuchten Gebäude auch nach DIN 18 230 die erforderliche Feuerwiderstandsdauer berechnet und die sich daraus ergebenden Anforderungen an die Bauteile auf Bild 17 dargestellt. Es zeigt sich, daß bis auf die

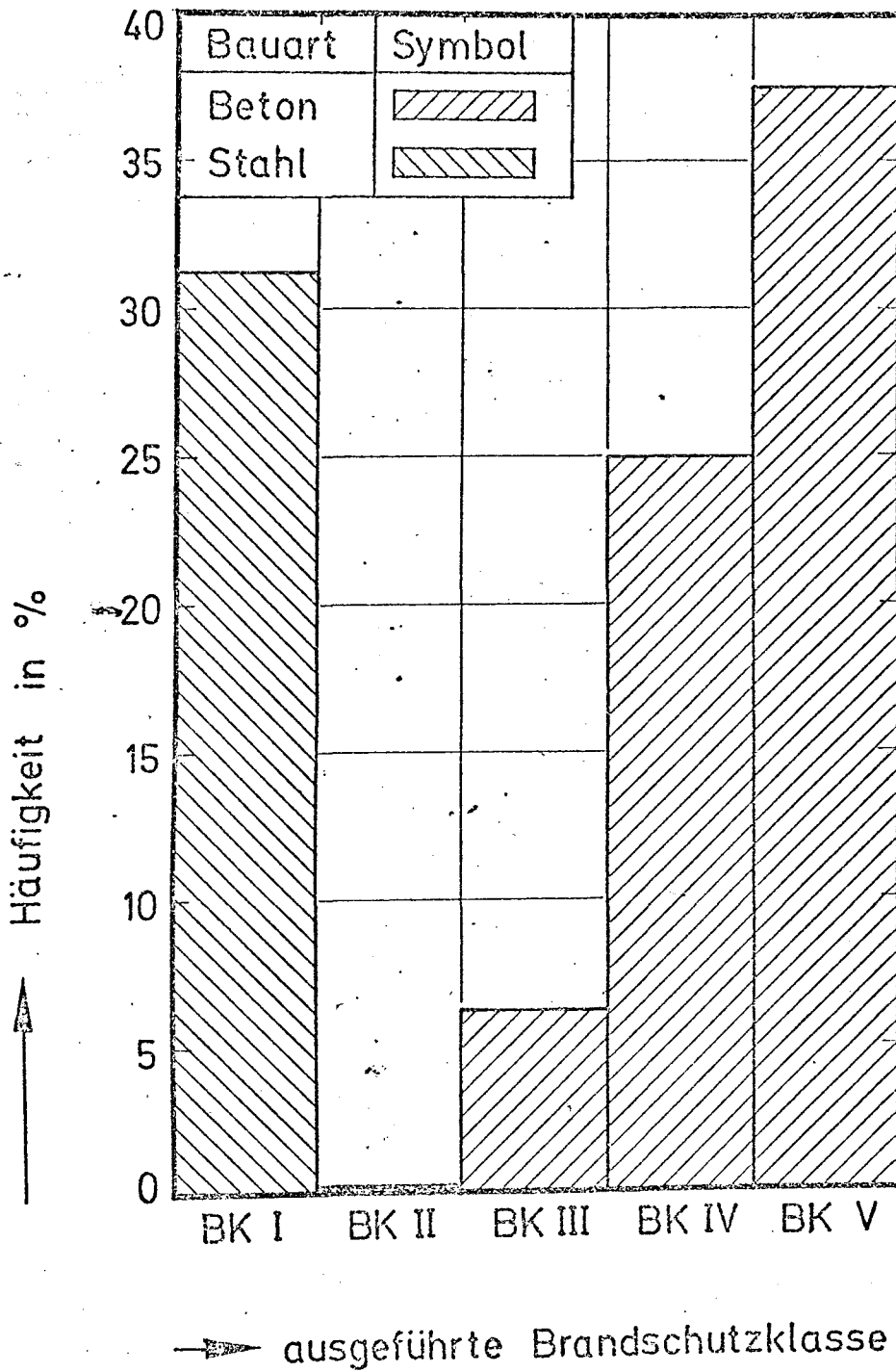


Bild 16: Häufigkeit unterschiedlicher Brandschutzklassen und Bauweisen im Industriebau nach [7]

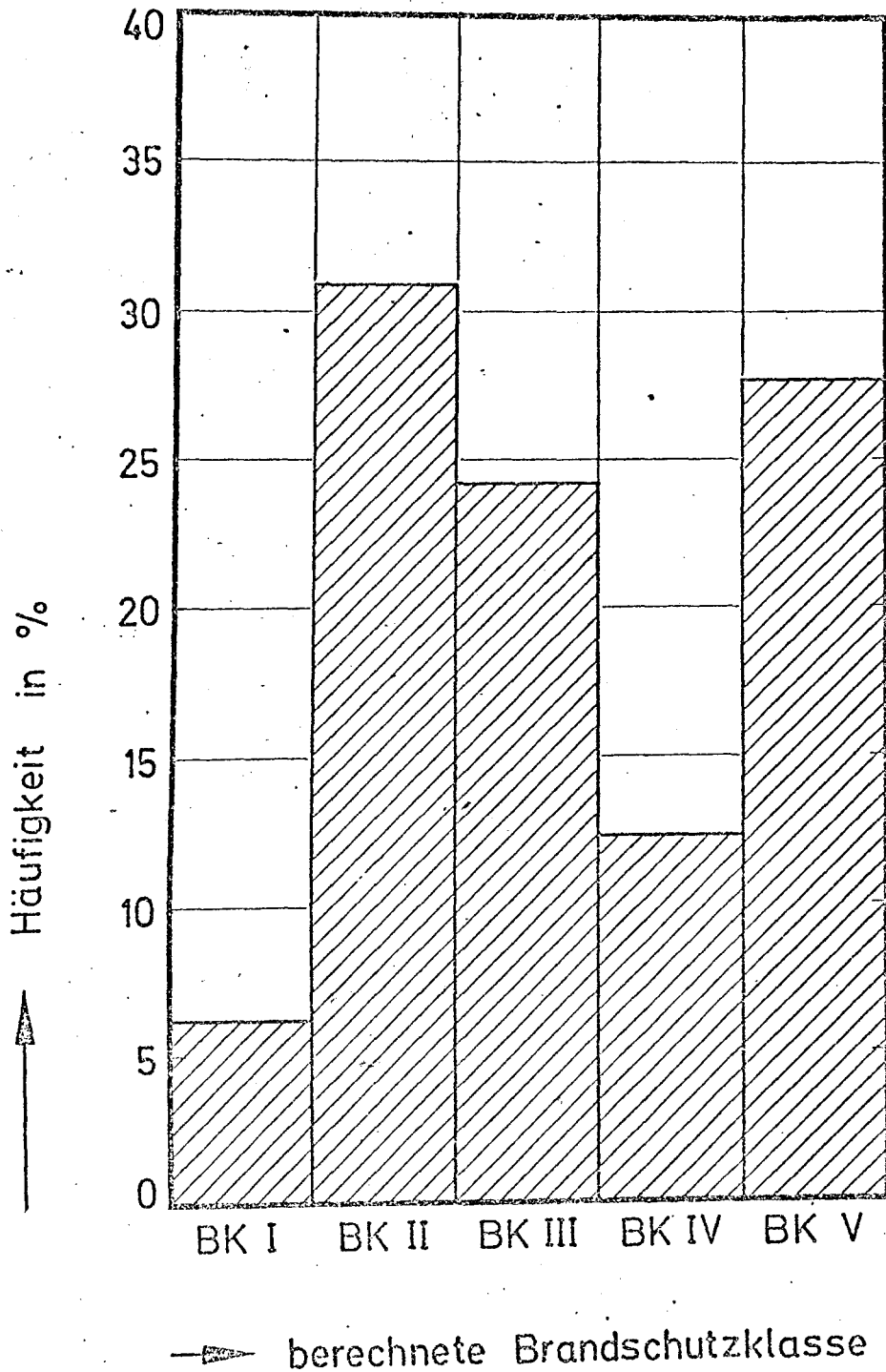


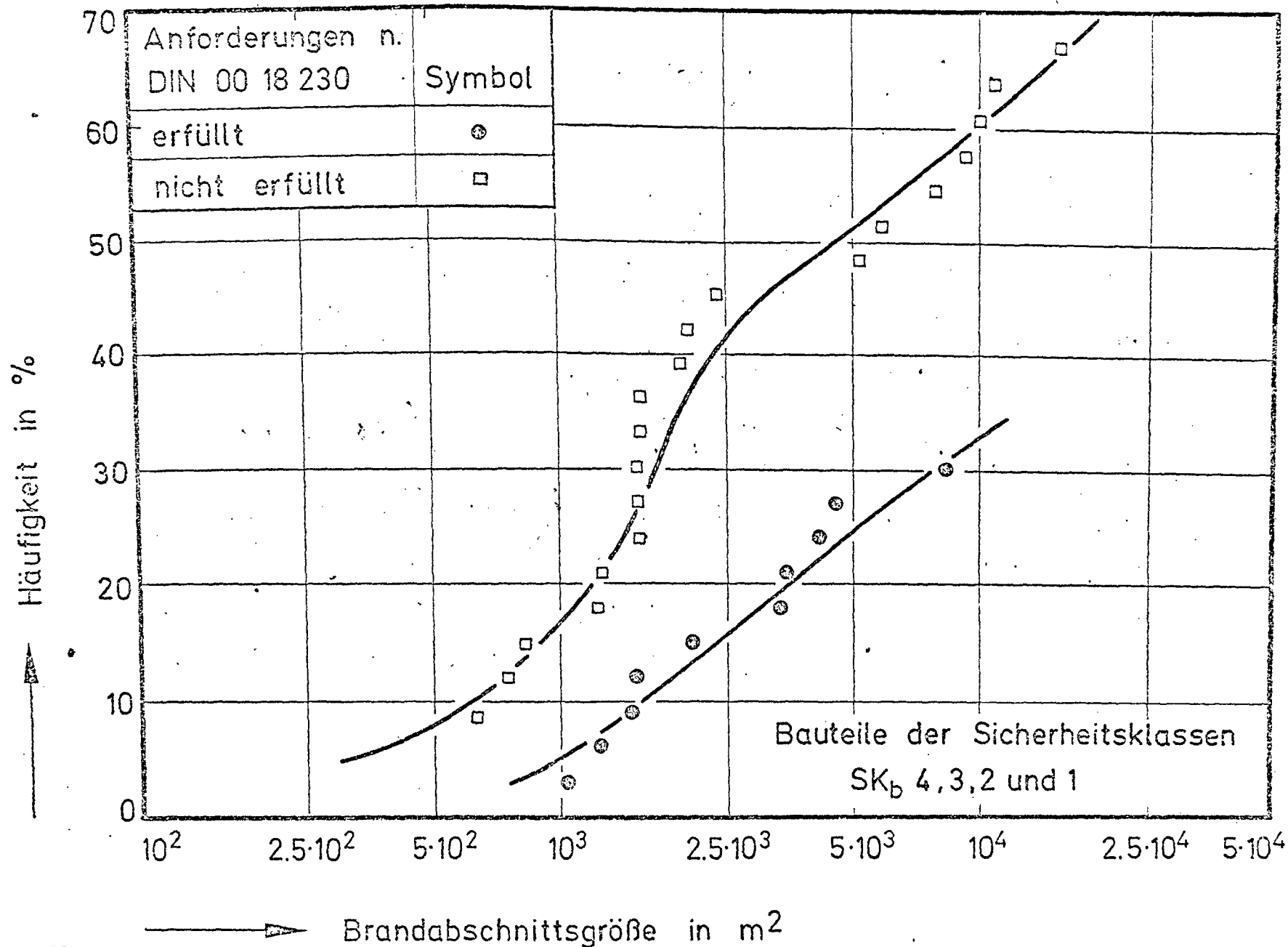
Bild 17: Auftretenswahrscheinlichkeit der einzelnen Brandschutzklassen nach DIN 18 230 für Industriegebäude nach [7]

Brandschutzklasse I alle Brandschutzklassen etwa gleich häufig vertreten sind, wenn unterstellt wird, daß vermutlich die Brandschutzklasse V auf Kosten der Brandschutzklasse IV etwas überrepräsentiert ist. Der niedrige Anteil von Gebäuden in der nach der Normvorlage vorgesehenen Brandschutzklasse I ( $t_{\text{äq}} \leq 15$  Minuten) ergibt sich vermutlich u. a. aus der Tatsache, daß die Höhe der tatsächlichen Brandbelastung - nach dem Motto: "Da gibt es ja nichts Brennbares!" - in der Praxis häufig erheblich unterschätzt wird und das Bauwerk trotz höherer Brandgefahr nur für die Klasse I ausgeführt wurde.

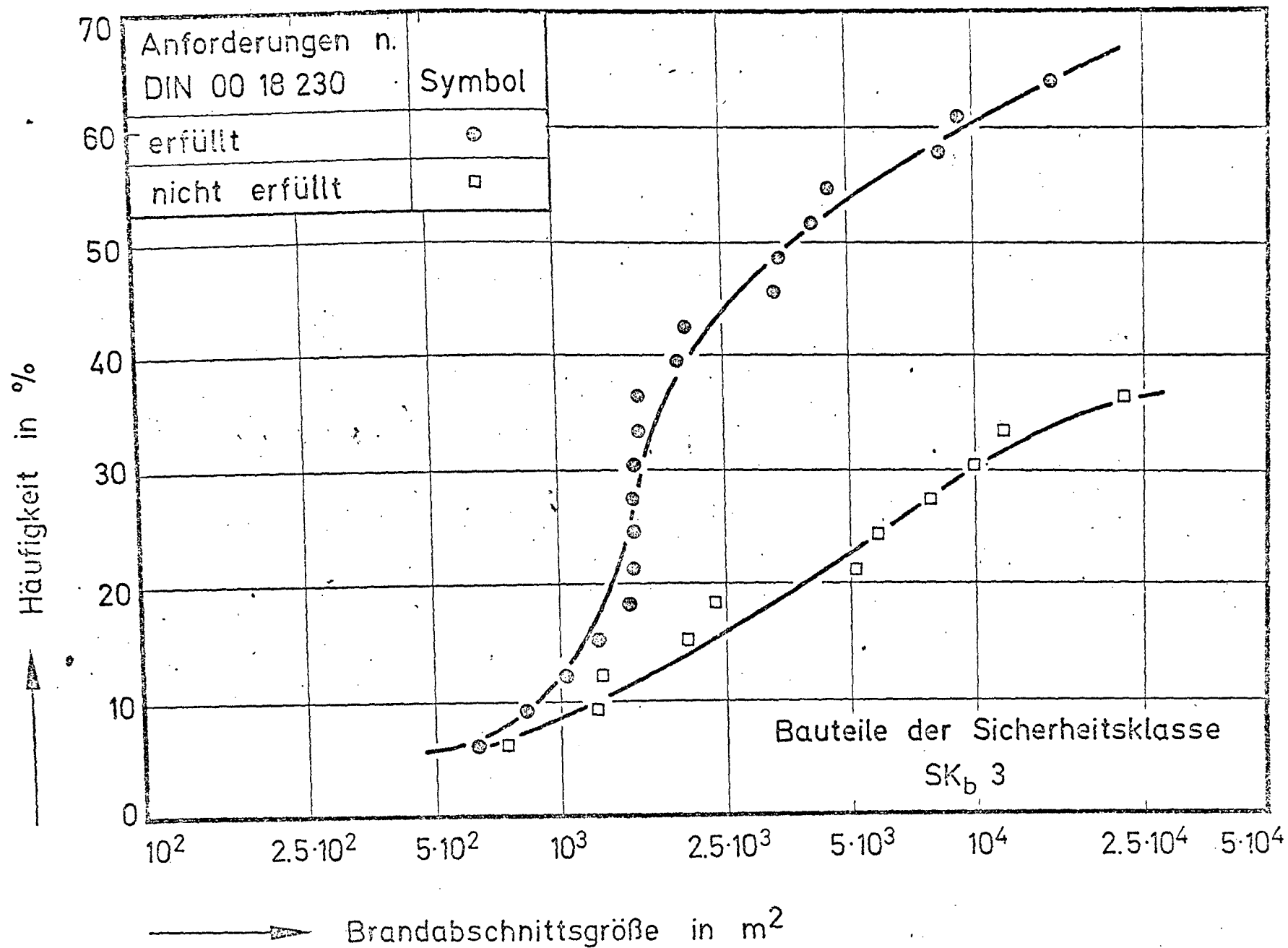
Auf Bild 18 sind die für alle Objekte rechnerisch ermittelten Anforderungen, der jeweiligen tatsächlichen Bauausführung, in Abhängigkeit von den Brandabschnittsgrößen gegenübergestellt, wobei zunächst bewußt keine Unterscheidungen bezüglich der Sicherheitsklassen getroffen wurden. Man erkennt, daß die rechnerischen Anforderungen nach DIN 18 230 nur in etwa 30 % aller Fälle erfüllt sind, d. h. 70 % der untersuchten Bauwerke waren im Sinne von DIN 18 230 brandschutztechnisch unzureichend ausgeführt.

Diese hohe Ausfallquote dürfte allgemein überraschen. Es muß jedoch darauf hingewiesen werden, daß in diese Betrachtung alle Bauteile, insbesondere also auch Abschlüsse, Klappen usw., einbezogen sind. Bei der Erfassung der Brandlasten und Begehung der Gebäude war schon aufgefallen, daß in den untersuchten Industriegebäuden nur in wenigen Fällen geprüfte bzw. zugelassene Feuerschutztüren und -abschlüsse verwendet worden waren, so daß als eine der Hauptursachen der hohen Ausfallsquote sicherlich in den brandschutztechnisch unzureichenden Abschlüssen zu finden ist.

Auf Bild 19 ist eine Gegenüberstellung für alle Objekte durchgeführt, wobei nun aber alle Bauteile der Klassen  $SK_b 1$  und  $SK_b 2$  - insbesondere also auch Abschlüsse bzw. F-Türen - vorweg ausgeschieden wurden. Es zeigt sich, daß in fast 2/3 aller Fälle die Bauteile des Haupttragwerks der hier untersuchten Gebäude den Anforderungen nach DIN 18 230 entsprechen. Es wird somit deutlich, daß die Normanforderungen im Prinzip von den bestehenden Gebäuden erfüllt wurden. Der Funktionstyp der Verteilungsfunktionen läßt sich allerdings nicht ohne weiteres bestimmen, doch kann man sicherlich von einer eindeutigen Tendenz sprechen. Ein gemeinsamer Vergleich der Bauteile der Klassen  $SK_b 3$  und  $SK_b 4$  führt im übrigen zu ähnlichen Beziehungen, so daß auf eine weitere Darstellung dieser Art verzichtet werden kann.



**Bild 18:** Vergleich der ausgeführten und nach DIN 18 230 erforderlichen Feuerwiderstandsdauern von bestehenden Industriegebäuden nach [7]



**Bild 19:** Vergleich der ausgeführten und nach DIN 18 230 erforderlichen Feuerwiderstandsdauern von bestehenden Industriegebäuden nach [7] (nur Bauteile des Haupttragwerks)

In diesem Zusammenhang muß darauf hingewiesen werden, daß sich die Sicherheitsklassen für den Brand und daraus abzuleitende Anforderungen, z. B. gemäß Tabelle A der Normvorlage (s. Erläuterungen zu DIN 18 230, Teil 1), nur auf Einzelbauteile und ihr Verhalten im Brandfall beziehen. Über das Verhalten der Gesamtkonstruktion im Brand ist nichts gesagt. Entsprechende Arbeiten sind im Rahmen von DIN 18 231 angelaufen. Es bedarf sicherlich noch größter Anstrengungen, um über diesen sehr wichtigen Fragenkomplex Aufschluß zu gewinnen. Im Rahmen der Arbeiten des Sonderforschungsbereiches 148 "Brandverhalten von Bauteilen" der Technischen Universität Braunschweig werden entsprechende Untersuchungen schon seit längerer Zeit durchgeführt.

## 6. Schlußfolgerungen

Sicherheitsanforderungen für den vorbeugenden baulichen Brandschutz werden im konventionellen Hochbau durch die Landesbauordnungen festgelegt. Bei besonderen Risiken, z. B. bei Hochhäusern oder in Kernkraftwerken, werden sie in Abstimmung mit Brandschutzsachverständigen mehr oder weniger gefühlsmäßig erhöht. Dort wird das Fehlen eines geeigneten brandschutztechnischen Bemessungsverfahrens am ehesten deutlich. Mit dem Entwurf von DIN 18 230 wird ein solches Bemessungsverfahren für den Industriebau vorgeschlagen, da auch dort die unterschiedlichen Bauweisen und Risiken eine differenzierte Festlegung der Sicherheitsanforderungen unumgänglich machen.

In DIN 18 230 werden erstmalig - und das ist eine beachtenswerte Erweiterung der bisher geübten Bemessungspraxis - die in einem Brandabschnitt vorhandenen Brandlasten bei der Bestimmung der erforderlichen Feuerwiderstandsdauer der Bauteile berücksichtigt. Es wurde deshalb hier zunächst gezeigt, welcher Zusammenhang zwischen einem natürlichen Brand und dem Normbrand nach DIN 4102 besteht und welche Möglichkeiten es gibt, die Brandwirkung beliebiger Brände theoretisch abzuschätzen und mit Hilfe der sogenannten äquivalenten Branddauer auf den Normbrand umzurechnen. Die dem Normentwurf zugrunde liegende indirekte Bemessungsmethode wurde in ihren Grundzügen dargestellt.

Die verwendeten Einflußgrößen unterliegen jedoch bestimmten Streuungen und zufälligen Abweichungen, so daß es erforderlich war, ein Sicherheitskonzept auf der Grundlage der probabilistischen Sicherheitstheorie zu entwickeln. Die Theorie hat zum Ziel, die Bauteile unter Berücksichtigung der Auftretenswahrscheinlichkeit gefährlicher Brände und der statistischen Streuungen der Einflußgrößen mit einer gewünschten Zuverlässigkeit zu be-



messen. Mit Hilfe eines als Maß für die Zuverlässigkeit eingeführten Sicherheitsindex für den Brandschutz lassen sich die erforderlichen Sicherheitselemente rational herleiten. Die Sicherheitsbeiwerte können für eine mittlere Auftretenswahrscheinlichkeit von gefährlichen Bränden und ein mittleres Zuverlässigkeitsbedürfnis als Funktion der Brandabschnittsflächen berechnet werden. Durch einen Korrekturwert können die Sicherheitsbeiwerte an geänderte Auftretenswahrscheinlichkeiten und Zuverlässigkeitsanforderungen angepaßt werden.

Anhand von systematischen brandschutztechnischen Untersuchungen an bestehenden Industrieobjekten wurde weiterhin der Frage nachgegangen, inwieweit die gegenwärtig realisierten baulichen Brandschutzmaßnahmen in Industriegebäuden mit den nach DIN 18 230 vorgesehenen Anforderungen korrelieren. Zu diesem Zweck wurden 33 Industrieobjekte untersucht, wobei die für eine Berechnung gemäß DIN 18 230 erforderlichen brandschutztechnischen Parameter ermittelt wurden. Eine statistische Auswertung der Einzelergebnisse hat ergeben, daß die Brandabschnittsgrößen im Industriebau einer logarithmischen Normalverteilung unterliegen. Der vorliegende Datensatz zeigt einen Zentralwert um  $2.500 \text{ m}^2$ . In knapp 40 % aller Fälle wurden die Brandabschnittsgrößen der Normvorlage überschritten - vor allem im Bereich hoher Brandlasten und bei größeren Flächen. Die ermittelte Brandlastverteilung ist ebenfalls logarithmisch normal verteilt. Der Zentralwert liegt bei  $120 \text{ kWh/m}^2$ , was einem Holzgleichwert von  $26 \text{ kg/m}^2$  entspricht. Der über alle Stoffe und Brandlasten für die Zentralwerte gemittelte m-Faktor ergab sich zu 0,6.

Die rechnerischen Anforderungen an die Feuerwiderstandsdauer der Bauteile nach DIN 18 230 waren insgesamt gesehen höher als die in den Bauwerken ausgeführten Feuerwiderstandsdauern. Diese Aussage gilt jedoch nur bei gleichzeitiger Betrachtung aller Bauteile, d. h. sämtliche Bauteile der Klassen  $SK_b 4$ ,  $SK_b 3$ ,  $SK_b 2$  und  $SK_b 1$ . Ein Vergleich der Bauteile der Sicherheitsklasse  $SK_b 3$  (Haupttragwerk) allein zeigte, daß etwa 65 % aller Bauwerke die Normanforderungen bereits erfüllen. Insgesamt gesehen lassen die Ergebnisse der Untersuchung hoffen, daß die bisher geübte Praxis des baulichen Brandschutzes im Industriebau - entweder Brandschutzklasse I oder IV bzw. V - nach Einführung der Norm von einem mehr an den tatsächlichen Gegebenheiten orientierten Verfahren abgelöst wird. Eine Entwicklung in diesem Sinne sollte für die Zukunft auch im Bereich der Kraftwerksanlagen einschließlich der Kernkraftwerke angestrebt werden.

## 7. Literaturhinweise

- [1] Normenausschuß Bauwesen (NABau): Grundlagen für die Festlegung von Sicherheitsanforderungen für bauliche Anlagen. Entwurf November (1977).
- [2] Schneider, U., und Haksever, A.: Bestimmung der äquivalenten Branddauer von statisch bestimmt gelagerten Stahlbetonbalken bei natürlichen Bränden. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig, Dezember (1977).
- [3] Schneider, U.: Über die Möglichkeit der Umrechnung von natürlichen Bränden auf die Brandbeanspruchung nach DIN 4102. Zentralblatt für Industriebau, 19. Jahrgang, Heft 1, S. 24/29, C.R.Vincentz Verlag, Hannover, (1973).
- [4] Knublauch, E.: Über Ausführung und Aussagefähigkeit des Normbrandversuchs nach DIN 4102, Blatt 2, im Hinblick auf die Nachbildung natürlicher Schadenfeuer. BAM-Berichte Nr. 16, Berlin, (1972).
- [5] Knublauch, E.: Zur Frage der äquivalenten Normbranddauer  $t_a$  von natürlichen Schadenfeuern. Abschlußbericht, BAM, Berlin, (1974).
- [6] Arnault, P., et al.: Rapport Experimental Sur Les Essais Avec Des Feux Naturels Executes Dans Les Petite Installation. Maisieres-Les-Metz, (1973).
- [7] Schneider, U.: Baulicher Brandschutz im Industriebau - Berechnungen nach DIN 18 230. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig, Juni (1978).
- [8] Klingelhöfer, H.G.: Entwicklung eines Prüfverfahrens zur Bewertung der Brandlasten in Industriebauten - Bewertungsfaktor "m" DIN 18 230. Abschlußbericht, MPA Dortmund, (1977).
- [9] Schneider, U.: Bewertung des unterschiedlichen Brandverhaltens von Stoffen bei natürlichen Bränden (Beitrag zum Berechnungsverfahren nach DIN 18 230 E). Abschlußbericht, Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig, (1975).
- [10] Knublauch, E., Rudolphi, R., Tanaka, T.: m-Faktor-Versuche - Auswertungen mit Hilfe der mathematischen Statistik. Abschlußbericht, Teil 1 und Teil 2, BAM, Berlin, (1973 und 1974).
- [11] Pettersson, O., Magnusson, S.E., und Thor, J.: Brandschutztechnische Bemessung von Stahlkonstruktionen. Deutsche Übersetzung, Januar (1977).
- [12] Hosser, D.: Probabilistische Ermittlung von Sicherheitselementen für vereinfachte Nachweise im baulichen Brandschutz. Bericht: Fachbereich Konstruktiver Ingenieurbau, TH Darmstadt, September (1978).
- [13] Kordina, E., et al.: Sicherheitstheoretische Untersuchungen zur Versagenswahrscheinlichkeit von brandbeanspruchten Bauteilen. Arbeitsbericht des SFB 148, S. D1 - D17, TU Braunschweig, (1977).
- [14] Bub, H.: Sicherheitskonzept für den konstruktiven baulichen Brandschutz Brandbelastung - Brandwiderstand. Institut für Bautechnik, Berlin, Juni (1978).

2. 11. 1986

3A- 11